

E.T.S. de Ingeniería Industrial,  
Informática y de Telecomunicación

# Construcción de una maqueta del antiguo Reloj del Ayuntamiento mediante impresión 3D



Grado en Ingeniería  
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Nerea De Bilbao Ilzarbe  
Jokin Aginaga García  
Pamplona, octubre de 2020





## AGRACIIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer al Departamento de Ingeniería, concretamente al grupo de Ingeniería Mecánica Aplicada y Computacional (IMAC), al haberme ofrecido la oportunidad de realizar este proyecto bajo su tutela.

Agradecer a Jokin Aginaga García, director de este trabajo y profesor de la Universidad, por su atención y ayuda a lo largo de la elaboración de todo el proyecto.

Dar gracias al Planetario, por abrirme sus puertas y dejarme disfrutar del Reloj, y a Miguel Ángel Bretos por compartir conmigo sus conocimientos acerca de la historia de los relojes.

Gracias a todos los técnicos de la Universidad que han tomado parte en la construcción de la maqueta, y especialmente a Jaime Legarrea, sin él este proyecto no habría sido posible.

Finalmente, agradecer a mi familia y amigos. Gracias a vuestra ayuda y apoyo he conseguido terminar el proyecto, a pesar de todas las complicaciones que han ido surgiendo.

Muchas gracias a todos.



## RESUMEN

El antiguo reloj del Ayuntamiento de Pamplona fue fabricado en 1827 el relojero de Betelu, Juan Manuel Yeregui, y ha estado cerca de siglo y medio en funcionamiento hasta su sustitución en el año 1991. Recientemente, el reloj ha sido restaurado y pronto será expuesto en el Planetario de Pamplona.

El reloj está formado por un entramado de engranajes, levas y actuadores y su movimiento se alimenta mediante el descenso de tres pesas. Los engranajes están distribuidos en 3 trenes de engranajes conectados entre sí por actuadores que se activan cuando deben sonar las horas y los cuartos de hora.

En este Trabajo Fin de Grado, se pretende crear una maqueta a escala de dicho reloj, incluyendo todos sus componentes. La mayor parte de las piezas se fabricarán mediante impresoras 3D. El ensamblaje y el ajuste deben realizarse con gran precisión, ya que el objetivo es poder construir una maqueta que pueda ponerse en marcha, funcione correctamente, dé la hora e incluso pueda activar el mecanismo de sonería para horas y cuartos.

## LISTA DE PALABRAS CLAVE

Reloj monumental de torre, mecanismo, modelado, prototipo, impresión 3D.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	13
1.1.	ANTECEDENTES .....	13
1.2.	OBJETIVOS .....	13
2.	CONTEXTO HISTÓRICO .....	15
2.1.	DESARROLLO HISTÓRICO DE LOS RELOJES .....	15
2.2.	HISTORIA DE LA FAMILIA YEREGUI .....	19
2.3.	EL ANTIGUO RELOJ DEL AYUNTAMIENTO .....	21
3.	DESCRIPCIÓN, ELEMENTOS Y FUNCIONAMIENTO DEL RELOJ .....	22
3.1.	ELEMENTOS GENERALES .....	22
3.1.1.	RUEDA IMPERIAL .....	23
3.1.2.	SISTEMA REDUCTOR PARA DAR CUERDA .....	24
3.1.3.	PESAS .....	25
3.2.	TREN DE MOVIMIENTO .....	25
3.2.1.	RUEDA DE ESCAPE .....	26
3.2.2.	ÁNCORA .....	26
3.2.3.	MECANISMO DEL PÉNDULO .....	27
3.3.	EJE MINUTERO .....	27
3.3.1.	RUEDA MINUTERA .....	28
3.3.2.	RUEDA PIVOTADA .....	29
3.3.3.	PRIMERA PALANCA (ACTUADOR Y) .....	30
3.4.	TREN DE SONERÍA DE CUARTOS .....	30
3.4.1.	SEGUNDA RUEDA .....	30
3.4.2.	TERCERA RUEDA .....	31
3.4.3.	SEGUNDA PALANCA (ACTUADOR DE BLOQUEO) .....	32
3.4.4.	ACTUADORES DE LA SONERÍA .....	33
3.4.5.	VENTEROL .....	33
3.4.6.	ACTUADOR DE ACTIVACIÓN DE SONERÍA DE HORAS .....	34
3.4.7.	ACTIVACIÓN DE LA SONERÍA DE CUARTOS .....	34
3.5.	TREN DE SONERÍA DE HORAS .....	35
3.5.1.	ACTUADOR DE BLOQUEO Y SEGUNDA RUEDA .....	35
3.5.2.	TERCERA RUEDA .....	36
3.5.3.	RUEDA CONTADORA .....	36
3.5.4.	ACTUADOR DE LA SONERÍA DE HORAS .....	37
4.	METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	39
5.	MODELO A ESCALA .....	40
5.1.	VALIDACIÓN ESCALA .....	40

6.	DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL TREN DE MOVIMIENTO .....	41
6.1.	TREN DE ENGRANAJES .....	41
6.1.1.	PRIMER ENSAYO .....	41
6.1.2.	SEGUNDO ENSAYO .....	42
6.1.3.	SOLUCIÓN ADOPTADA .....	44
6.2.	EJES Y UNIONES .....	46
6.3.	RUEDA IMPERIAL .....	47
6.4.	ÁNCORA Y RUEDA DE ESCAPE .....	50
6.5.	PÉNDULO .....	53
6.5.1.	CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL PÉNDULO .....	54
6.5.2.	ALTERNATIVAS ESTUDIADAS .....	56
6.5.3.	SOLUCIÓN ADOPTADA .....	57
7.	DISEÑO DEL PROTOTIPO DE LA RUEDA MINUTERA .....	60
7.1.	PRIMERA PALANCA .....	62
8.	DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL TREN DE CUARTOS .....	64
8.1.	TREN DE ENGRANAJES .....	64
8.2.	EJES Y UNIONES .....	65
8.3.	SONERÍA DE CUARTOS .....	67
9.	DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL TREN DE HORAS .....	70
9.1.	TREN DE ENGRANAJES .....	70
9.2.	EJES Y UNIONES .....	72
10.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA .....	74
10.1.	SOPORTES .....	74
10.2.	BASE .....	75
11.	FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO .....	76
12.	MONTAJE .....	78
13.	PRESUPUESTO .....	79
14.	CONCLUSIONES .....	80
15.	FOTOGRAFÍAS DEL ESTUDIO .....	82
15.1.	PROTOTIPO VIRTUAL .....	82
15.2.	PROTOTIPO FUNCIONAL .....	84
16.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87
	ANEXO I: LISTADO DE ELEMENTOS .....	88
	ANEXO II: ÍNDICE DE PLANOS .....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clepsidra medieval [2] .....	15
Figura 2: Reloj de sol [3] .....	16
Figura 3: Reloj de arena.....	16
Figura 4: Antiguo mecanismo de relojería con escape de paletas que acciona un foliot [2] .....	17
Figura 5: El primer reloj de péndulo, inventado por Christiaan Huygens en 1656 [6] .....	18
Figura 6: Relojes de Harrison, de izq. A drcha. H1-H5 [8] .....	19
Figura 7: Parte del árbol genealógico de la familia Yregui. ....	20
Figura 8: Placa identificativa del antiguo reloj del Ayuntamiento de Pamplona .....	21
Figura 9: Aspecto del antiguo reloj del Ayuntamiento de Pamplona tras su restauración (2020) .....	22
Figura 10: Rueda imperial .....	24
Figura 11: Sistema reductor para dar cuerda.....	24
Figura 12: Rueda de escape y Áncora .....	26
Figura 13: Componentes del péndulo .....	27
Figura 14: Eje minuterio .....	28
Figura 15: Rueda minuteria y tercera rueda del tren de movimiento .....	29
Figura 16: Rueda pivotada y primera palanca.....	29
Figura 17: Primera palanca.....	30
Figura 18: Segunda rueda con fleje y actuador de bloqueo posición bloqueada .....	31
Figura 19: Rueda contadora .....	32
Figura 20: Segunda palanca .....	32
Figura 21: Actuadores de la sonería.....	33
Figura 22: Venterol.....	33
Figura 23: Actuador que comunica el tren de cuartos y el de horas .....	34
Figura 24: Mecanismo de activación de la sonoridad de cuartos.....	35
Figura 25: Actuador de bloqueo y segunda rueda del tren de horas en posición de bloqueo... ..	36
Figura 26: Tercera rueda del tren de horas.....	36
Figura 27: Rueda contadora de la sonería de horas.....	37
Figura 28: Actuador de la sonería de horas .....	38
Figura 29: Campana fabricada para la restauración del reloj .....	38
Figura 30: Metodología de trabajo .....	39
Figura 31: Primer ensayo de una parte del tren de movimiento .....	42
Figura 32: Segundo ensayo del tren de movimiento .....	43
Figura 33: Rueda 2 en SolidWorks .....	45
Figura 34: Rueda 3 en SolidWorks .....	45
Figura 35: Eje del áncora en SolidWorks.....	46
Figura 36: Rueda 3 en SolidWorks .....	46
Figura 37: Eje 1 en SolidWorks.....	47
Figura 38: Eje 2 en SolidWorks.....	47
Figura 39: Arandela en SolidWorks .....	47
Figura 40: Conjunto de la rueda imperial del tren de movimiento en SolidWorks .....	48
Figura 41: Despiece del conjunto de la Rueda imperial en SolidWorks.....	48
Figura 42: Eje 3 en SolidWorks.....	49
Figura 43: Rueda 3 en SolidWorks .....	49
Figura 44: Rueda trinquete en SolidWorks .....	49
Figura 45: Uña en SolidWorks .....	49
Figura 46: Fleje imperial en SolidWorks.....	50
Figura 47: Arandela imperial en SolidWorks.....	50
Figura 48: Geometría del áncora [14] .....	51
Figura 49: Diseño de las paletas del Áncora .....	52



Figura 50: Áncora central en SolidWorks.....	53
Figura 51: Áncora derecha en SolidWorks .....	53
Figura 52: Áncora izquierda en SolidWorks .....	53
Figura 53: Relación de transmisión del tren de movimiento, desde el piñón del eje 1 hasta la rueda del eje 3.....	55
Figura 54: Primera alternativa para el soporte del péndulo .....	57
Figura 55: Soporte fleje en SolidWorks.....	58
Figura 56: Fleje en SolidWorks .....	58
Figura 57: Agarre del péndulo en SolidWorks.....	58
Figura 58: Barra péndulo en SolidWorks.....	58
Figura 59: Tren de movimiento con sus respectivos soportes en SolidWorks .....	59
Figura 60: Conjunto del eje minuterio y sus componentes en SolidWorks .....	60
Figura 61: Eje minuterio en SolidWorks.....	61
Figura 62: Rueda minuteria en SolidWorks.....	61
Figura 63: Embrague en SolidWorks .....	61
Figura 64: Aguja minuteria en SolidWorks.....	61
Figura 65: Arandela aguja en SolidWorks .....	62
Figura 66: Rueda pivotada en SolidWorks .....	62
Figura 67: Arandela en SolidWorks .....	62
Figura 68: Soporte primera palanca en SolidWorks.....	62
Figura 69: Primera palanca en SolidWorks .....	63
Figura 70: Rueda 2 en SolidWorks .....	65
Figura 71: Rueda contadora en SolidWorks.....	65
Figura 72: Rueda engrane imperial en SolidWorks.....	65
Figura 73: Eje 1 en SolidWorks.....	66
Figura 74: Venterol en SolidWorks.....	66
Figura 75: Eje 2 en SolidWorks.....	66
Figura 76: Eje 3 en SolidWorks.....	66
Figura 77: Eje segunda palanca en SolidWorks.....	67
Figura 78: Actuador de bloqueo en SolidWorks .....	67
Figura 79: Actuador contador en SolidWorks .....	67
Figura 80: Eje sonería cuartos en SolidWorks.....	68
Figura 81: Actuador sonería de cuartos 1 en SolidWorks.....	68
Figura 82: Actuador sonería de cuartos 2 en SolidWorks .....	68
Figura 83: Arandela sonería en SolidWorks .....	68
Figura 84: Acoplamiento ejes cuartos en SolidWorks.....	69
Figura 85: Tren de horas con sus respectivos soportes en SolidWorks .....	70
Figura 86: Rueda 2 en SolidWorks .....	71
Figura 87: Rueda 3 en SolidWorks .....	71
Figura 88: Rueda contadora en SolidWorks.....	72
Figura 89: Eje 1 en SolidWorks.....	72
Figura 90: Eje 2 en SolidWorks.....	72
Figura 91: Eje 3 en SolidWorks.....	73
Figura 92: Soportes con rodamientos y tapas del prototipo del tren de movimiento en SolidWorks .....	75
Figura 93: Base del prototipo de la estructura en SolidWorks .....	75
Figura 94: Algunos de los elementos fabricados por cortadora laser.....	77
Figura 95: Placa identificativa de la esfera del prototipo .....	77
Figura 96: Rueda de escape en diferentes materiales: MDF, ONYX Y ABS (de izq. a dcha.).....	80
Figura 97: Vista isométrica del prototipo virtual .....	82
Figura 98: Vista en alzado del prototipo virtual .....	83
Figura 99: Vista isométrica rasera del prototipo virtual .....	83

Figura 100: Vista trasera del prototipo virtual ..... 84

Figura 101: Vista isométrica del prototipo funcional..... 84

Figura 102: Vista frontal del prototipo funcional..... 85

Figura 103: Placa identificativa del prototipo funcional ..... 85

Figura 104: Vista isométrica trasera del prototipo funcional ..... 86

Figura 105: Vista trasera del prototipo funcional ..... 86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación de transmisión y número de dientes de los engranajes .....	23
Tabla 2: Masas de las pesas de los trenes de engranaje .....	25
Tabla 3: Comparación de los parámetros de los engranajes del tren de movimiento entre el reloj original y el primer diseño del prototipo .....	41
Tabla 4: Comparación de los parámetros de los engranajes del tren de movimiento entre el reloj original y el diseño final del prototipo .....	44
Tabla 5: Engranajes independientes del tren de movimiento .....	45
Tabla 6: Ejes y uniones del tren de movimiento .....	47
Tabla 7: Elementos de la Rueda imperial .....	50
Tabla 8: Interpolación para el valor de $N=9,75$ mediante la tabla de Graham para la geometría del Áncora .....	51
Tabla 9: Valores para la geometría del áncora según la tabla Graham .....	52
Tabla 10: Los tres componentes que forman el Áncora .....	53
Tabla 11: Valores del número de dientes de la rueda minutería variando la velocidad del eje minuterio .....	56
Tabla 12: Elementos que componen el péndulo .....	58
Tabla 13: Eje minuterio y sus componentes .....	62
Tabla 14: Primera palanca y su soporte .....	63
Tabla 15: Comparación de los parámetros de los engranajes del tren de cuartos entre el reloj original y el diseño final del prototipo .....	64
Tabla 16: Ruedas que contiene el mecanismo del tren de cuartos .....	65
Tabla 17: Ejes y algún elemento del tren de cuartos .....	66
Tabla 18: Componentes de la segunda palanca del tren de sonería de cuartos .....	67
Tabla 19: Componentes de los actuadores de sonería de cuartos .....	68
Tabla 20: Acoplamiento eje cuartos .....	69
Tabla 21 : Comparación de los parámetros de los engranajes del tren de horas entre el reloj original y el diseño final del prototipo .....	71
Tabla 22: Ruedas que contiene el mecanismo del tren de horas. ....	72
Tabla 23: Ejes del tren de horas .....	73
Tabla 24: Distancias entre los ejes de los trenes de engranaje .....	74
Tabla 25: Características y materiales de la tecnología utilizada en la fabricación .....	76

# ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula del periodo ..... 54

Ecuación 2: Número de oscilaciones..... 54

Ecuación 3: Velocidad de la rueda de escape ..... 54

Ecuación 4: Velocidad de la Rueda 3..... 55

Ecuación 5: Relación de transmisión..... 55

## 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto consiste en la construcción de una maqueta de un antiguo reloj monumental de torre mediante impresión 3D y otras tecnologías de prototipo rápido. A continuación, se muestran los antecedentes y los objetivos de este.

### 1.1. ANTECEDENTES

Este mobiliario histórico-artístico, fue fabricado en **1827** por **Juan Manuel Yeregui** y estuvo funcionando en el Ayuntamiento de Pamplona hasta 1991.

Este reloj se trasladó en 2016 desde los locales municipales de Zapatería 40, donde habitualmente estaba expuesto, hasta los talleres del Planetario de Pamplona para ser restaurado y expuesto en el vestíbulo de este durante los próximos años.

Para la restauración, que se dio el pasado año (2019), el Planetario se puso en contacto con la UPNA y surgió un nuevo proyecto [1]. Este fue propuesto por la asociación **Yeregui Elkarte**, que tiene como objetivo recuperar la memoria histórica de la familia de herreros-relojeros Yeregui.

Dicho proyecto, fue realizado por el estudiante de Ingeniería en Tecnologías Industriales Adrián Claver Alba. El equipo de restauración lo formaron antiguos estudiantes pertenecientes al Aula de la Experiencia de la UPNA, que se encargaron de las labores más artesanales con su voluntariado.

Por otro lado, la segunda parte del mencionado proyecto consistía en construir un modelo de CAD del reloj mediante el programa de SolidWorks. Por lo tanto, este será el origen del presente Trabajo Fin de Grado.

### 1.2. OBJETIVOS

El objetivo general de este proyecto es la impresión en 3D de una maqueta del antiguo reloj del Ayuntamiento de Pamplona.

Además del objetivo general, los objetivos específicos que se tienen son los siguientes:

1. Analizar detalladamente todos los componentes del mecanismo y comprender el funcionamiento de este.
2. Realizar la síntesis analítica del mecanismo y dimensionarlo a escala.
3. Diseñar los componentes del mecanismo de acuerdo con su funcionalidad, de modo que puedan ser fabricados mediante una impresora 3D y su montaje sea posible.

4. Imprimir y montar el mecanismo comprobando que este cumple con su correcta su funcionalidad.
5. Además, se pretende presentar la maqueta del reloj en el concurso de maquetas de mecanismos dentro del XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica.

## 2. CONTEXTO HISTÓRICO

Es importante hacer hincapié en el contexto histórico de este reloj, ya que, los componentes que forman este mecanismo son únicos y diseñados exclusivamente para este reloj.

Los **relojes monumentales** también llamados relojes de torre, se ubican generalmente en edificios públicos y están destinados a informar de la hora a los ciudadanos, además de embellecer el entorno donde están instalados. Los relojes de péndulo se caracterizan por su precisión, formados por engranajes, levas y actuadores, y cuya fuerza motriz es la propia gravedad. Estos relojes mecánicos han ocupado su lugar en pueblos y ciudades desde el siglo XVII, hasta la llegada de los electrónicos en el siglo XX.

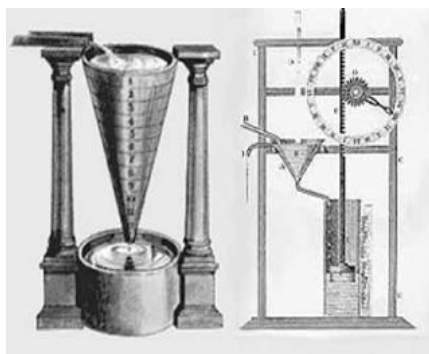
En Navarra se encuentra la familia de herreros-relojeros Yeregui, de la cual 5 generaciones se dedicaron a la relojería. Actualmente, queda como recuerdo la asociación **Yeregui Elkarte** que tiene como objetivo rescatar la historia de los relojes contruidos por su familia, así como su legado tecnológico y cultural.

### 2.1. DESARROLLO HISTÓRICO DE LOS RELOJES

Desde el principio de la civilización, el ser humano ha experimentado la necesidad de medir el tiempo. Se desarrollaron los primeros calendarios, pero pronto gracias a la navegación se hizo patente la necesidad de contar con instrumentos más precisos. Debido a esto, los más ingeniosos comenzaron a idear mecanismos confiables para regular el tiempo.

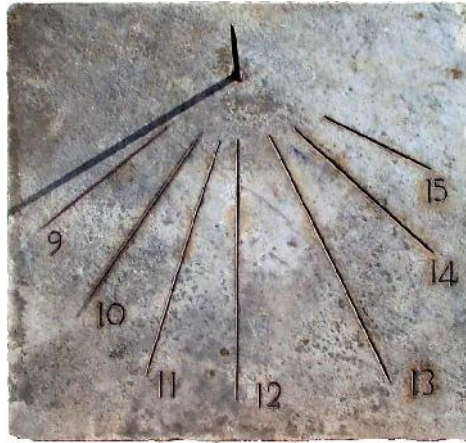
El primer reloj fue **la Clepsidra** (Figura 1), también llamado **reloj de agua**, inventado por los antiguos egipcios. Este consistía en un recipiente lleno de agua que se vaciaba a intervalos regulares gracias a un orificio practicado en su parte interior.

En este, ocurrían dos acciones a la vez. Por un lado, la fuerza que movía el reloj era ejercida por la gravedad y el ritmo del reloj era determinado por la velocidad constante que tenía el agua al caer.



*Figura 1: Clepsidra medieval [2]*

Posteriormente, hacia el año 1000 a. de C, en Medio Oriente se creó el **reloj de sol** (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). En este, la sombra de una varilla vertical caía sobre una esfera marcada regularmente, moviéndose según transcurría el día. El inconveniente de este reloj era la total dependencia del clima.



*Figura 2: Reloj de sol [3]*

Más adelante, alrededor del siglo XIII d. de C. se conoció el **reloj de arena** (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). Este estaba formado por dos recipientes de vidrio unidos por su parte más estrecha, a través de la cual caía arena debido a la energía potencial de la gravedad. El transcurso de una hora era equivalente al tiempo que tardaba en vaciarse un recipiente. La fluencia de la arena en estos relojes tiene características diferentes a la de los líquidos; siendo el caudal independiente de la altura del material en el depósito hasta los últimos centímetros.



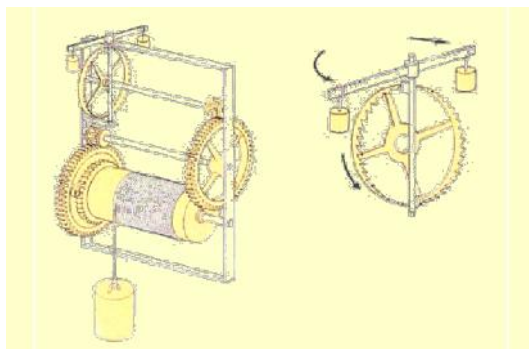
*Figura 3: Reloj de arena*



El **reloj mecánico**, se distingue de los anteriores ya que utiliza un procedimiento mecánico para medir el tiempo y no se basa en un fenómeno natural mensurable. En estos, por un lado, la fuerza necesaria para mover el mecanismo se lograba mediante la fuerza de la gravedad que ejercían las pesas que colgaban del reloj. Y, por otro lado, para marcar el ritmo del reloj, se crearon unos mecanismos de escape. Este elemento fue la clave que determinó el nacimiento de los relojes mecánicos en el siglo XIII [4].

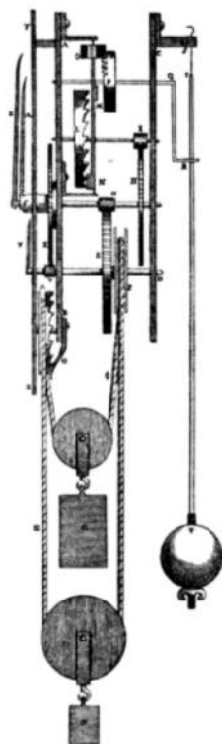
No hay una determinada fecha para la creación de los primeros relojes mecánicos, pero se podría colocar entre los siglos XIII y XIV. Los relojes de esta época contaban con un escape formado por un eje y un elemento llamado **foliot**. A pesar del avance que supuso la creación de este elemento, estaban hechos de acero y sufrían de la expansión y contracción que provocaban los cambios de temperatura. Además, la precisión del foliot estaba limitada por las grandes perturbaciones que sufría este en sus oscilaciones. Por esta razón, eran inexactos en un rango de 1 a 30 minutos al día y tenían que ser ajustados diariamente [2].

El foliot es un regulador de marcha del reloj que consiste en un escape formado por paletas y una rueda catalina, que es una rueda con un dentado paralelo al eje, con la que engrana. Al girar la rueda catalina, el eje de paleta movía un travesaño en forma de vaivén, cuya frecuencia se podía regular situando convenientemente los dos contrapesos que se hallan en sus extremos [5].



*Figura 4: Antiguo mecanismo de relojería con escape de paletas que acciona un foliot [2]*

En 1656, de la mano de **Christian Huygens**, llegó la aplicación del péndulo de Galileo en la regulación de la marcha de los relojes. Al principio, se completaba con un escape de paletas y a partir de 1670 se incorporó el escape de áncora. En principio, este método resultó mucho más exacto que el de foliot, pero el péndulo sufría de modificaciones de la longitud por motivo de la variación de temperaturas. Para corregirlo, se sustituyó el vástago del péndulo por dos o más varillas de hierro y de bronce para lograr esa compensación. De este modo, se consiguió que el centro de gravedad del conjunto pendular se mantuviera casi fijo.



*Figura 5: El primer reloj de péndulo, inventado por Christiaan Huygens en 1656 [6]*

Otra solución a este desajuste de longitud fue el inventado por **George Graham** (1673-1751), basado en el mercurio como masa pendular. Debido a que su densidad es casi tres veces mayor que la del latón, las variaciones del nivel del líquido motivadas por la temperatura compensan las variaciones de longitud del péndulo.

Los viajes en barco fueron muy peligrosos hasta el siglo XVIII. El problema más grave se encontraba a la hora de orientarse, ya que la posición depende de la longitud y de la latitud. La latitud podía determinarse mediante la medición de la elevación del sol o la estrella polar utilizando sextantes u otros instrumentos, pero la longitud quedaba indeterminada. Para fijar esta magnitud, era necesario poseer un reloj que midiera el tiempo en el que se elevaba el sol, pero los relojes de esa época no estaban capacitados para asignar una medición precisa en alta mar debido a los cambios de temperatura y las vibraciones.

Entonces, fue **John Harrison** el que aportó una solución a este problema en **1730**, cuando se presentó al concurso que el gobierno británico había propuesto con el fin de solucionar este problema [7]. Con la ayuda del reconocido relojero George Graham, realizó 5 prototipos distintos hasta que logró el ideal. El primer prototipo (H1) consistió en una serie de rodillos, ruedas de madera y dos balanzas con mancuernas unidas. Aunque este prototipo resultó ser exitoso, no fue suficiente para obtener el premio, y tras realizar algunas modificaciones relacionadas con los balances circulares, surgieron los prototipos H2 y H3. Estos tampoco resultaron ser válidos por la Junta y después de incorporar elementos de otros relojes construido por Thomas Judge, surgió un nuevo modelo avanzado y más compacto de reloj marino, el H4. Este tampoco logró la compensación económica de la Junta ya que afirmaban que podía haber sido cuestión

de buena suerte. Finalmente, tras varias pruebas nació el prototipo definitivo, el H5. Este resultó ser preciso y más manejable que los modelos anteriores. Estas innovaciones en los relojes supusieron un gran avance, no solo para el ámbito de la relojería, sino también para el de la tecnología y la sociedad de aquella época.

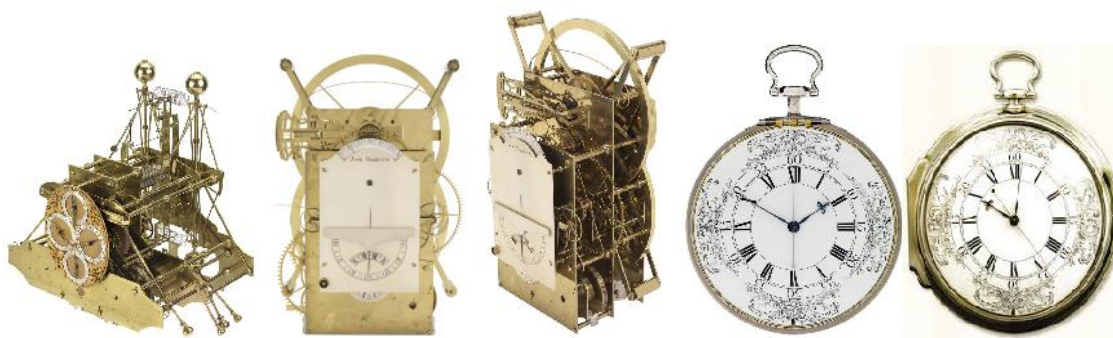


Figura 6: Relojes de Harrison, de izq. A drcha. H1-H5 [8]

Más adelante, en 1840 Alexander Brain construyó el primer reloj eléctrico cuyo funcionamiento era a través de un electroimán. La fuente que hacía funcionar el reloj era la electricidad generada con unas enormes placas de cobre y zinc. A partir de entonces, poco tardaron en llegar el reloj de pulsera (1880), el de cuarzo (1929), el atómico (1949) y el reloj digital (1970) [9].

Actualmente, se están desarrollando los relojes inteligentes o *smartwatch*. La constante incorporación de funciones complejas consigue que este sea como un pequeño ordenador, siendo capaz de navegar por internet o realizar llamadas, entre otras cosas.

## 2.2. HISTORIA DE LA FAMILIA YEREGUI

Los Yeregui son una conocida familia de mecánicos relojes que, desde finales del siglo XVIII hasta mediados del siglo XX, crearon relojes durante 5 generaciones.

La saga de los “Yeregui” como Herreros-Relojeros, comienza con **José Francisco Yeregui Zabaleta** (1760 - 1834), nacido en Leitza (Navarra). Siendo este carpintero, construyó un reloj de madera exponiéndolo así en una feria de Pamplona.

Viendo el gran éxito que tuvo este reloj, la gente lo animó a construir uno de hierro, y fue así como se desplazó a una fragua de Arruitz (Navarra) para aprender el oficio de herrero. De esta manera, obtuvo su primer contrato público para la construcción del reloj para la villa de Betelu (Navarra), que se comprometió en escritura pública el 15 de abril de 1796. Después de 6 años José Francisco dio vida al mecanismo y este tenía una peculiaridad, ya que, a las 3 de la tarde sus campanadas sonaban 33 veces, recordando así la hora de la muerte de Cristo y la edad con la que falleció. Las agujas de este reloj estuvieron dando la hora hasta el año 1962, que fue sustituido por otro reloj de la casa Murua de Vitoria-Gasteiz.

El siguiente relojero de esta familia fue **Juan Manuel Yeregui Canflanca** (1795 - 1848). El reloj más famoso que construyó fue el **antiguo reloj del Ayuntamiento de Pamplona**. Inicialmente, en **1827**, se cree que se construyó este reloj para la iglesia de San Lorenzo de Pamplona, pero velando por su seguridad, debido a un bombardeo de la guerra carlista, fue trasladado al Ayuntamiento de Pamplona en 1849. Allí, continuó funcionando hasta 1991, donde fue sustituido por un reloj de radio controlado [10]. Actualmente se encuentra en el Planetario de Pamplona a la espera de ser expuesto al público.

El próximo relojero de esta familia fue **Juan José Yeregui Olano** (1819 - 1887), sobrino de Juan Manuel. Este construyó un reloj para la villa de Alzaga en 1877 y otro para la villa de Espinal en 1884. El hijo de este, **Bonifacio Yeregui Yeregui** (1850 - 1911), continuó con la profesión de la familia y se destacan de él los relojes destinados a Saldias, Gaintza (Navarra), Villanueva y Marcilla. Además, los primos de este también fueron relojeros, **Benito** (1843 - 1912) y **Serapio** (1859 - 1926). De Benito se ha contabilizado que construyó hasta 80 relojes, siendo el más remarcable el Reloj de San Miguel de Artadi en 1901. Y de Serapio se sabe que realizó varios relojes como son el de Arano, Elizondo, Goizueta o Irún [11].

El último relojero fue **Andrés Yeregui Eraso** (1884 - 1975), hijo de Bonifacio. Este realizó los relojes de Izurdiaga, Igoa y Latasa.

A continuación, se muestra un árbol genealógico de la familia de relojero Yeregui.

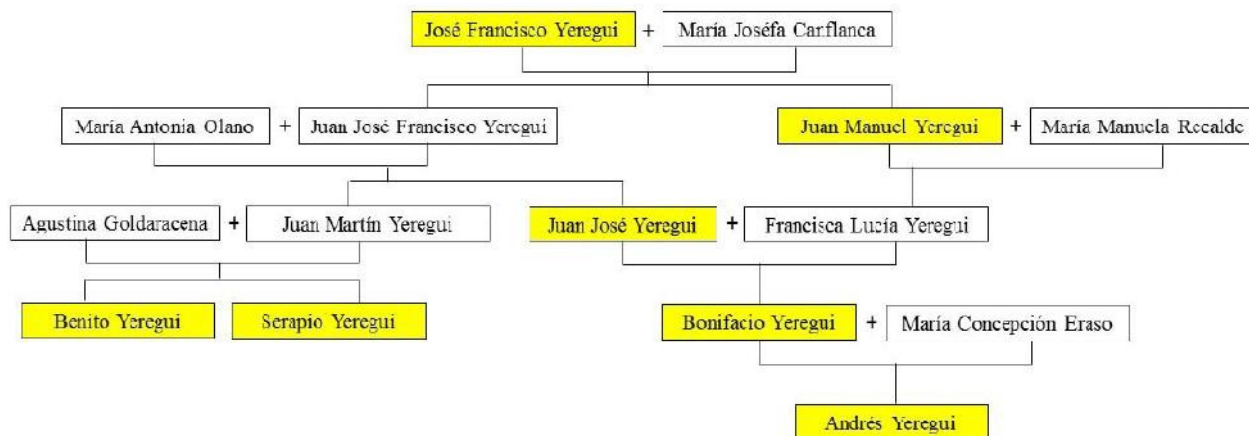


Figura 7: Parte del árbol genealógico de la familia Yeregui.

Actualmente, la asociación Yeregui Elkarte trabaja para recuperar el legado histórico de esta familia de relojeros. Para ello, además de recopilar y difundir la información sobre esta familia y los relojes construidos, también restauran y fomentan la restauración de los relojes monumentales de torre. De esta manera, se puede poner en valor el legado histórico y tecnológico de estos mecanismos y de los artesanos que los construían.

### 2.3. EL ANTIGUO RELOJ DEL AYUNTAMIENTO

Juan Manuel Yeregui Canflanca fue el creador del antiguo reloj del Ayuntamiento de Pamplona en 1827. Aunque no exista constancia documental del contrato de construcción, el reloj cuenta con una esfera en la que se indica su autor lugar y año de fabricación [12].



*Figura 8: Placa identificativa del antiguo reloj del Ayuntamiento de Pamplona*

Supuestamente el reloj fue instalado inicialmente en la Iglesia de San Lorenzo de Pamplona y este se trasladó al Ayuntamiento de la ciudad en el año 1849 por motivos que se desconocen. En esta ubicación las campanas del reloj sonaron hasta El 25 de septiembre de 1991, cuando fue sustituido por un reloj electrónico [13].

Pese a que este reloj indicaba la hora en la fachada del Ayuntamiento de la capital navarra, este no era el reloj principal que precisaba la hora correcta. El reloj que marcaba la hora que coincidía con la hora madrileña oficial se encontraba en la capilla San Fermín de la ciudad de Pamplona. Este era el que dirigía la hora de los relojes oficiales de alrededor.

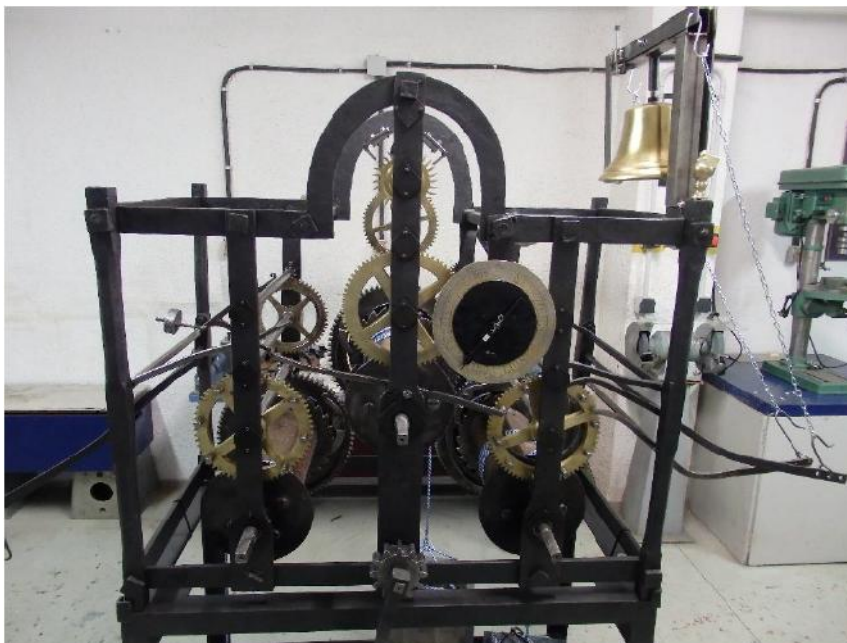
Tras la retirada del reloj del Ayuntamiento, se observó que la mayoría de los elementos mantenían su originalidad, pero había algunas modificaciones que se habrían hecho a lo largo de los años de existencia de este. El cambio más notorio fue en los rodamientos, ya que el uso de estos no se normalizó hasta el siglo XX. Por ello se intuye que inicialmente el reloj tenía cojinetes de bronce y estos se reemplazaron por rodamientos debido a un excesivo desgaste.

Este patrimonio histórico fue restaurado y puesto en marcha el pasado año 2019 y actualmente se encuentra guardado en el planetario esperando para su próxima exposición.



### 3. DESCRIPCIÓN, ELEMENTOS Y FUNCIONAMIENTO DEL RELOJ

El presente mecanismo es un reloj de torre monumental regido por el movimiento de un péndulo. La longitud del péndulo es la que determina la duración de su ciclo de funcionamiento por lo que este será el que marque el ritmo del reloj.



*Figura 9: Aspecto del antiguo reloj del Ayuntamiento de Pamplona tras su restauración (2020)*

La fuente de energía que posibilita el movimiento del mecanismo es la gravedad, por ello, puede decirse que el reloj es alimentado por una fuente de energía renovable. Para un movimiento ilimitado, era necesario que una o dos veces a la semana, una persona diera cuerda al sistema, elevando las pesas que caían del sistema y que mediante la gravedad hacían de motor del sistema.

El reloj está formado por 3 trenes de engranaje, uno para el movimiento (central) y otros dos para la sonería de cuartos (izq.) y horas (dcha.). El tren de movimiento se mantiene en funcionamiento en todo momento y los otros dos trenes únicamente se activan cuando les llegue el momento de hacer sonar las campanas.

#### 3.1. ELEMENTOS GENERALES

Las tres partes del reloj cuentan con varios elementos en común como son el tren de engranajes, la rueda imperial o las pesas. A continuación, se mostrará una tabla con la configuración de cada tren de engranajes con su respectiva relación de transmisión y más adelante se explicarán todos los elementos que diferencian cada tren.

	MECANISMO DE MOVIMIENTO	MECANISMO DE CUARTOS	MECANISMO DE HORAS
Relación de transmisión (i)	504	840	546
ENGRANAJES	Número de dientes (Z)	Número de dientes (Z)	Número de dientes (Z)
Rueda engrane imperial	80	96	78
Piñón eje 3	10	8	8
Rueda eje 3	72	70	64
Piñón eje 2	8	7	8
Rueda eje 2	56	56	56
Piñón eje 1	8	8	8

Tabla 1: Relación de transmisión y número de dientes de los engranajes

### 3.1.1. RUEDA IMPERIAL

Los tres trenes de engranajes que conforman el mecanismo contienen la llamada rueda imperial. Este es un grupo de elementos compuestos por un **tambor de madera**, una **rueda de engranaje** y una **rueda trinquete** principalmente, cuyo objetivo es el de dar cuerda sin que el mecanismo deje de funcionar. Esta rueda imperial se encuentra en el último eje de cada tren de engranajes y de esta colgará la pesa que moverá cada mecanismo.

La rueda trinquete y el tambor giran solidarias respecto al eje acoplado a la estructura. La rueda de engranaje, en cambio, gira respecto a esta rueda trinquete. Este sistema está diseñado de esta forma para que sea posible darle cuerda al reloj sin cambiar el funcionamiento de este, ya que la rueda de engranaje no se moverá. Para ello, el sistema cuenta con un **fleje de acero** con la función de muelle y una **uña** que hará de freno. Estos dos elementos posibilitan que la rueda de engranaje pueda girar con la rueda de trinquete cuando el reloj está funcionando, pero no le permiten girar cuando se le esté dando cuerda.



Figura 10: Rueda imperial

La cuerda se enrollará en el tambor de madera en la dirección contraria a la que cae la pesa, de forma que la rueda trinquete arrastre mediante la uña a la rueda de engrane. Así pues, esta rueda de engrane será la primera en transmitir el movimiento al tren de engranajes.

### 3.1.2. SISTEMA REDUCTOR PARA DAR CUERDA

Para llevar a cabo la acción de dar cuerda, el mecanismo cuenta con un sistema reductor compuesto por dos engranajes. El objetivo de estos es reducir la fuerza necesaria para elevar las pesas de los trenes de engranajes.

Este sistema está compuesto por una **rueda conductora** de 12 dientes y una **rueda conducida** de 60 dientes. La pequeña de las dos se coloca siempre en el eje central, y la más grande se coloca en el eje de la rueda imperial del tren al que se quiera dar cuerda. Estos dos elementos son extraíbles y solo se colocan cuando se quieran elevar las pesas de los trenes. Además, este mecanismo cuenta con una manivela que se coloca en el eje de la rueda conductora qué posibilitará el giro de los ejes.

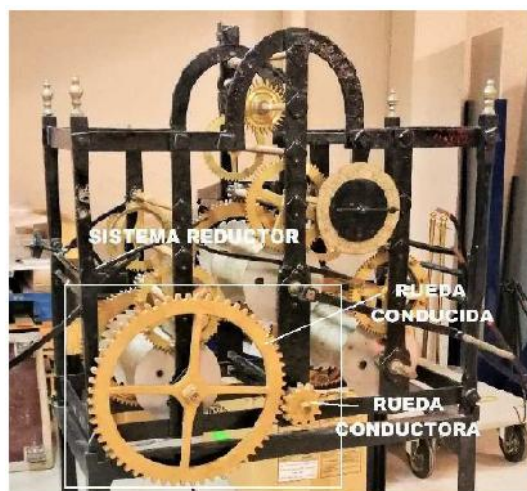


Figura 11: Sistema reductor para dar cuerda



Con el número de dientes de los dos engranajes se puede calcular la relación de transmisión. En este caso tendrá un valor de 5, lo que significa que se hará un par 5 veces menor en el momento de dar cuerda.

$$i = \frac{N^{\circ} \text{ dientes rueda conducida}}{N^{\circ} \text{ dientes rueda conductora}} = \frac{60}{12} = 5$$

### 3.1.3. PESAS

Otro de los elementos que tienen en común los tres trenes son las ya mencionadas pesas. Estas colgarán de cada rueda imperial, más concretamente de cada tambor, mediante una cuerda que estará enroscada a este último. La masa de estas junto con la gravedad ejerce una fuerza vertical hacia abajo y accionará el movimiento del tren de engranajes, siempre que estos no estén bloqueados.

Las pesas de cada tren tendrán masas serán diferentes, ya que los trenes de engranajes tienen diferentes relaciones de transmisión, y la masa va en relación con esta.

TREN DE ENGRANAJE	MASA [kg]
Movimiento	100
Sonería de cuartos	120
Sonería de horas	60

Tabla 2: Masas de las pesas de los trenes de engranaje

Estas masas deben asegurar el movimiento de los trenes, pero no pueden ser excesivas, ya que esto podría dañar algunos de los elementos del mecanismo.

Después de analizar los elementos que tienen en común los tres bloques del mecanismo, a continuación, se muestra cada tren por separado explicando detalladamente el funcionamiento de cada elemento.

## 3.2. TREN DE MOVIMIENTO

Esta agrupación es la más Importante del funcionamiento del reloj, puesto que será la encargada de marcar el ritmo del reloj y contabilizar el tiempo, además de activar los otros dos mecanismos.

### 3.2.1. RUEDA DE ESCAPE

La rueda de escape se encuentra en el primer eje del tren de movimiento. Esta rueda se diferencia del resto por el perfil de los dientes tan concreto que tiene. Cuenta con un total de 30 dientes con forma afilada, siendo estos planos por una cara y conteniendo una gran inclinación en la otra. Esta forma tan peculiar se debe al necesario deslizamiento sobre las paletas del áncora.



*Figura 12: Rueda de escape y Áncora*

### 3.2.2. ÁNCORA

Esta pieza de gran delicadeza es la pieza clave para el funcionamiento del reloj. Está compuesta por tres elementos que posibilitan la regulación de la geometría para conseguir la máxima precisión y se encuentra en el eje superior que enlaza con el péndulo.

Este escape es de **tipo Graham**, desarrollado a mediados del siglo XVIII por Thomas Mudg (1759), alumno de George Graham. Este tipo de escape se distingue al resto debido a que la impulsión no es dada directamente al péndulo por la rueda de escape, sino por una pieza intermediaria, el **áncora**, que recibe la impulsión sobre sus dos paletas y la transmite al péndulo por su “tenedor”. En cada oscilación las dos paletas de sus extremos bloquean las ruedas de escape evitando así que se acelere el reloj.

Por lo tanto, este elemento será el encargado de convertir el movimiento rotacional de las ruedas del tren de engranajes en un movimiento oscilatorio.

La geometría de esta pieza es de vital importancia para el correcto funcionamiento del reloj. Los ángulos de las paletas del áncora permiten que los dientes de la rueda de escape deslicen correctamente sobre ellas y así no alterar el mecanismo.

### 3.2.3. MECANISMO DEL PÉNDULO

Este sistema está compuesto por dos varillas, un fleje metálico, un *tenedor* y una pesa.

El **tenedor** es un acoplamiento de tipo guía-pasador que enlaza el áncora con el péndulo. El pasador es solidario al áncora y empuja a la guía que permanece en el péndulo. Por otro lado, la varilla del péndulo cuelga de la estructura del reloj mediante un delgado **fleje metálico**, que posibilita la oscilación del péndulo. Este elemento, reduce el rozamiento al mismo tiempo que hace las veces de muelle, almacenando energía elástica en cada oscilación e impulsando así la oscilación en sentido opuesto.

Las **varillas** serán las que determinen la longitud del péndulo, además de fijar el centro de gravedad en la ubicación deseada junto a la pesa. Esta longitud del péndulo es imprescindible para el correcto funcionamiento del reloj, ya que está directamente relacionada con el periodo (se verá en la sección CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL PÉNDULO en el cálculo de la longitud del péndulo).

El péndulo cuenta con una **pesa** cilíndrica-truncocónica de 10 kg, con un saliente para lograr el agarre a las varillas. Teniendo en cuenta la diferencia de peso de esta con respecto a las varillas, se puede decir que el centro de gravedad del péndulo es igual al centro de gravedad de la pesa, despreciando el peso de las varillas.



(a) Tenedor



(b) Fleje del péndulo



(c) Pesa

Figura 13: Componentes del péndulo

### 3.3. EJE MINUTERO

El tren de movimiento además de ser el encargado de hacer funcionar el reloj debe desbloquear los trenes de sonería para que una vez liberados hagan sonar las campanas. Para ello existe un mecanismo que se encarga de la conexión entre el tren de movimiento y el tren de cuartos. Este mecanismo se encuentra en el llamado eje minuterio y se ubica en el soporte intermedio a los dos trenes mencionados.

Además de contener las piezas clave para la conexión de ambos trenes, este eje contiene la aguja minuterá que será la encargada de marcar los minutos transcurridos en la esfera del reloj (Figura 8). Para ello, uno de los extremos del eje sobresale de su soporte y de la esfera para que la aguja pueda ser introducida en este.

A continuación, se presentan los elementos que acompañan a este eje.



*Figura 14: Eje minuteró*

### 3.3.1. RUEDA MINUTERA

En el lado de la esfera se encuentra la rueda minuterá que engrana con la tercera rueda del tren de movimiento. Como la aguja gira solidaria al eje minuteró, la velocidad de la rueda minuterá vendrá restringida por la condición de dar una vuelta cada hora.

Esta rueda abarca 36 dientes y engrana con la tercera rueda del tren de movimiento (72 dientes). Por lo tanto, la relación de transmisión entre ambas ruedas tendrá un valor de 2.

$$i = \frac{N^{\circ} \text{ dientes rueda eje 3}}{N^{\circ} \text{ dientes rueda minuterá}} = \frac{72}{36} = 2$$



*Figura 15: Rueda minuterá y tercera rueda del tren de movimiento*

Para poder ajustar la hora, es posible hacer girar la aguja del reloj, retrocediéndola sin alterar el mecanismo. Para ello, la rueda minuterá cuenta con un sistema de embrague. El embrague gira solidario al eje minuteró mientras que la rueda minuterá arrastrará a este en la dirección de avance de la aguja, debido a la superficie rugosa que tiene. De esta manera, al mover la aguja manualmente en el sentido contrario, el eje minuteró se moverá con ella, al contrario de la rueda minuterá, y el mecanismo no se verá afectado.

### 3.3.2. RUEDA PIVOTADA

Además de contabilizar el tiempo, en este eje existe otra función fundamental: activar la sonería de cuartos. Para ello, en el extremo opuesto de la rueda minuterá, se encuentra la **rueda pivotada**, que es un disco con cuatro pivotes. La función de este elemento es la de empujar o retener a la primera palanca según corresponda, mediante el giro del eje y los pivotes.



*Figura 16: Rueda pivotada y primera palanca*

### 3.3.3. PRIMERA PALANCA (ACTUADOR Y)

Esta primera palanca es la que comunica el tren de movimiento con el tren de sonería de cuartos, ya que su función es la de liberar la sonería de cuartos cuando el tren de movimiento lo indique así.

Este elemento está colocado encima del eje minuterio, en la estructura, unido mediante un soporte que le permite moverse de forma oscilatoria. El extremo de esta tiene dos pequeños brazos: uno de ellos contacta con los citados pivotes y el otro se encarga de liberar el tren de cuartos mediante una segunda palanca.

La rueda pivotada del eje minuterio será la que marque el movimiento de este **actuador Y** (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Cuando uno de los pivotes desplace a este actuador, llegará un momento en el que el este entre en contacto con el actuador de bloqueo. El pivote seguirá desplazando al actuador Y, y este elevará el actuador de bloqueo, desbloqueando así la sonería de cuartos. Una vez realizada esta función, esta primera palanca volverá a su posición inicial, ya que el brazo más corto de esta podrá introducirse en el hueco que queda entre los pivotes.



*Figura 17: Primera palanca*

## 3.4. TREN DE SONERÍA DE CUARTOS

Cómo se acaba de ver, esta será la primera de las sonerías en ser activada. Esto sucederá cada vez que la aguja minuteria marque los cuartos de hora y, solamente en esos momentos será cuando este mecanismo está en funcionamiento.

A continuación, se describen los elementos que componen este tren y finalmente se desarrolla el funcionamiento del mismo.

### 3.4.1. SEGUNDA RUEDA



El engranaje que se encuentra en el segundo eje del tren de la sonería de cuartos cuenta con un **fleje** en su parte interior que tiene como fin bloquear o dejar moverse a este mecanismo.

Este fleje quedará bloqueado mediante el actuador de bloqueo (actuador superior de la sonería de cuartos) y cuándo éste sea liberado permitirá el movimiento de la segunda rueda y por lo tanto del mecanismo.



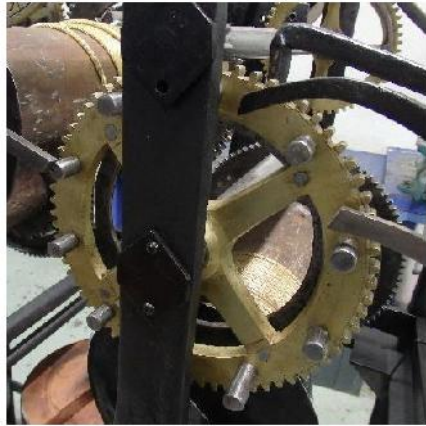
*Figura 18: Segunda rueda con fleje y actuador de bloqueo posición bloqueada*

#### 3.4.2. TERCERA RUEDA

La rueda que se encuentra en el tercer eje de este tren será la encargada de contabilizar y hacer sonar los toques de campanas que le corresponden a cada cuarto.

En la cara exterior de este engranaje se encuentran **los pivotes**. Contiene 10 pivotes simétricamente distribuidos a lo largo de la circunferencia (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..a**) Nueve de ellos tienen la misma longitud y el décimo es notablemente más largo. Estos pivotes serán los encargados en mover los actuadores que transmiten el movimiento a los martillos que golpearán a la campana. Cada uno de ellos equivale a un toque de campana y el pivote con mayor longitud se ocupará de activar la sonería de horas cuando sea necesario.

Al otro lado del engranaje, en la cara interior, se encuentra acoplado un disco con muescas y almenas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..b**). Esta pieza determinará el intervalo de tiempo que estará desbloqueado el mecanismo para efectuar los toques de campana. Para ello, cuenta con 3 almenas: la de mayor recorrido corresponde a "en punto" (4 pivotes); la siguiente coincide con el de "menos cuarto" (3 pivotes); y la de menor recorrido va concorde con el de "y media" (2 pivotes). Finalmente, el intervalo de tiempo del primer cuarto de hora, lo determinará la muesca que se encuentra entre la almena de mayor y menor recorrido (un toque de campana).



(a) Los 10 pivotes



(b) Disco

Figura 19: Rueda contadora

### 3.4.3. SEGUNDA PALANCA (ACTUADOR DE BLOQUEO)

Todos los actuadores correspondientes a este mecanismo se encuentran acoplados a los ejes ubicados en el extremo de la estructura. El primero de estos ejes será el que corresponda con el **actuador de bloqueo**, qué será la segunda palanca en la activación de la sonería de cuartos.

Este actuador está compuesto por el mencionado eje y dos largos brazos unidos a este (uno en cada extremo). El brazo que contiene un semicírculo será el encargado de bloquear el mecanismo mediante el contacto con el fleje de la segunda rueda, como se ha mencionado antes. Y el otro, estará en contacto con el disco de la rueda contadora. Ambos brazos son solidarios al eje, por lo tanto, el movimiento de uno de ellos afectará directamente al otro.



Figura 20: Segunda palanca



#### 3.4.4. ACTUADORES DE LA SONERÍA

Los dos actuadores de la sonería se encuentran en los dos ejes inferiores al recién nombrado actuador de bloqueo. Estos dos actuadores serán los encargados de mover los martillos que golpearán la campana.

Uno de los extremos de cada actuador estará en contacto con los pivotes de la tercera rueda y el otro extremo se une con las cadenas que mueven los mazos. De esta manera, cuando la tercera rueda gire, los pivotes elevarán el extremo de cada actuador con el que contactan cargando así el golpeo del martillo. Al pasar completamente el pivote el actuador caerá y el martillo efectuará el golpeo de campana.



*Figura 21: Actuadores de la sonería*

#### 3.4.5. VENTEROL

En el extremo del primer eje de este tren de cuartos se encuentra un elemento denominado **venterol**. Este funciona como volante de inercia, ya que, durante los primeros instantes en el que se desbloquea el mecanismo, la pesa cae libre sin apenas resistencia, por lo que, evita que el tren se acelere demasiado. De esta manera, absorbe parte de esta energía que se genera evitando las aceleraciones y consiguiendo que la frenada al bloquearse sea más leve.



*Figura 22: Venterol*

Por lo tanto, cuando el tren de cuartos se desbloquee, el eje superior girará y el venterol comenzará a girar con él. Cuando se vuelva a bloquear, este elemento podrá seguir girando hasta frenarse por completo liberando la energía almacenada.

#### 3.4.6. ACTUADOR DE ACTIVACIÓN DE SONERÍA DE HORAS

Este actuador será el encargado de activar la sonería de horas en el momento adecuado. Este elemento se encuentra en el soporte central del tren de movimiento y conecta la sonería de cuartos con la de horas.

Uno de sus extremos estará esperando a que el pivote más largo de la tercera rueda de la sonería de cuartos lo empuje, y con este movimiento el otro extremo podrá desbloquear la sonería de horas.



Figura 23: Actuador que comunica el tren de cuartos y el de horas

#### 3.4.7. ACTIVACIÓN DE LA SONERÍA DE CUARTOS

Son dos las fases que componen la activación del movimiento de la sonería de cuartos, que podrían denominarse *aviso* y *disparo*.

Este mecanismo se mantiene bloqueado hasta que se le da el aviso y se activa desde el tren de movimiento. Este bloqueo se realiza mediante el brazo con forma semicircular del actuador de bloqueo y el fleje que contiene la segunda rueda, reteniendo así el movimiento del tren de cuartos.

En la fase de aviso, el giro del eje minuterio con su disco de 4 pivotes hace que la primera palanca vaya oscilando. Esta eleva por encima del fleje la segunda palanca, consiguiendo desbloquear la segunda rueda del tren. Cuando el tren está liberado el eje superior gira hasta bloquearse debido al choque de un pivote contra la primera palanca. Y con esta acción se completa la fase de aviso.

El eje minuterio continuará girando y por lo tanto llegará un momento en el que el pivote de la rueda pivotada que está en escena dejará de empujar la primera palanca, debido a la pérdida de contacto entre ambos. Cuando esto ocurra, la primera palanca retrocederá y comenzará la fase de disparo. En este momento es

cuándo se libera completamente el eje superior de la primera palanca y empieza a girar activando la sonería de los cuartos de hora.

Durante esta fase, la segunda palanca se mantiene elevada gracias a la almena de la rueda contadora y de esta manera no interrumpe el movimiento del tren. El movimiento de la rueda contadora hace que sus pivotes provoquen el movimiento de los actuadores, que a su vez mueven los mazos que golpean las campanas.

Tras sonar las campanadas correspondientes, la segunda palanca cae en una hendidura de la rueda contadora y con este movimiento el fleje de la segunda rueda vuelve a ser retenido por este actuador de bloqueo. De esta manera el tren de cuartos deja de funcionar, manteniéndose parado hasta el próximo cuarto de hora.

Las imágenes que vienen a continuación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) muestran las posiciones de bloqueo (a), aviso (b) y disparo (c) de la sonería de cuartos.



(a) Bloqueado por fleje

(b) Bloqueado por pivote

(c) En movimiento

Figura 24: Mecanismo de activación de la sonoridad de cuartos

### 3.5. TREN DE SONERÍA DE HORAS

Este mecanismo será el último en ser activado y como ya se ha mencionado anteriormente, será el tren de sonería de cuartos el encargado en realizar esta acción. Su funcionamiento es similar al del tren de cuartos y a continuación se presentan sus elementos más destacables.

#### 3.5.1. ACTUADOR DE BLOQUEO Y SEGUNDA RUEDA

La sonería de horas cuenta con un actuador de bloqueo, colocado de la misma manera que el de los cuartos, pero en el lado opuesto. Este bloqueará el mecanismo mediante el contacto con el fleje que contiene la rueda del segundo eje de este tren, de la misma manera que el tren de cuartos.

El tren se mantendrá bloqueado hasta que el actuador de la sonería de horas que enlaza con el tren de cuartos lo active cuando llegue el momento adecuado.



*Figura 25: Actuador de bloqueo y segunda rueda del tren de horas en posición de bloqueo*

### 3.5.2. TERCERA RUEDA

El engranaje que se encuentra en el tercer eje de este tren de horas cuenta con 8 pivotes en su cara exterior, que serán los encargados en transmitir el movimiento al actuador de la sonería de horas. A diferencia del tren de cuartos, estos 8 pivotes tendrán la misma longitud y el mecanismo de funcionamiento será el mismo.



*Figura 26: Tercera rueda del tren de horas*

### 3.5.3. RUEDA CONTADORA

En este tren la rueda que se encargará de contabilizar el tiempo y por lo tanto de determinar el número de toques de campana será la que se encuentre en el eje de la rueda imperial.

En este caso, el disco acoplado a esta rueda cuenta con 11 muescas para diferenciar los distintos 12 intervalos de tiempo para cada hora correspondiente. La almena de mayor recorrido será la del intervalo de tiempo de las 12 campanadas, la segundo de mayor recorrido la de las 11 y así sucesivamente hasta las 2 campanadas. El intervalo de una campanada será el de la hendidura entre la almena de mayor recorrido y la de menor.

El mecanismo será el mismo que el de la sonería de cuartos, es decir, el actuador de la sonería estará en contacto con la almena durante los toques de campana y reposando en las hendiduras mientras el mecanismo esté bloqueado.



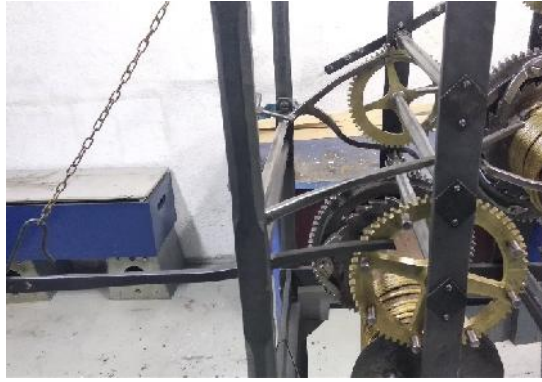
*Figura 27: Rueda contadora de la sonería de horas*

#### 3.5.4. ACTUADOR DE LA SONERÍA DE HORAS

En contraste con el tren de cuartos, este mecanismo contará solamente con un actuador de sonería. Esto es debido a que para las campanadas de horas tan sólo actúa un mazo golpeando la campana.

Uno de los extremos de este actuador estará en contacto con los pivotes de la tercera rueda y en el otro extremo irán las cadenas que comunican con el mazo que golpeará la campana.





*Figura 28: Actuador de la sonería de horas*

Hay que mencionar también que los actuadores activaban las campanas que permanecen en el Ayuntamiento, pero en la restauración se añadió una campana para que se pudiese ver también el movimiento de los mazos y los golpes de la sonería de las horas.



*Figura 29: Campana fabricada para la restauración del reloj*

## 4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El presente proyecto se ha realizado con la siguiente metodología que se desarrolla a continuación.

Una vez estudiado el funcionamiento de este sistema y comprendido cada uno de los objetivos de los elementos que lo componen, se ha pasado a determinar la escala a la que se va a realizar la maqueta.

Una vez decidida la escala, a la hora de comenzar a diseñar cada elemento se han barajado varias alternativas adaptándose a la fabricación con impresora 3D. Posteriormente, el diseño se lleva al lenguaje virtual mediante la herramienta SolidWorks.

El primer mecanismo en ser diseñado y fabricado ha sido el tren de movimiento. Una vez que se ha comprobado todo este mecanismo y se han realizado todas las modificaciones necesarias para su correcto funcionamiento, se ha pasado al tren de cuartos y posteriormente al de horas.

Lo recién indicado queda reflejado en el diagrama de flujo mostrado a continuación:

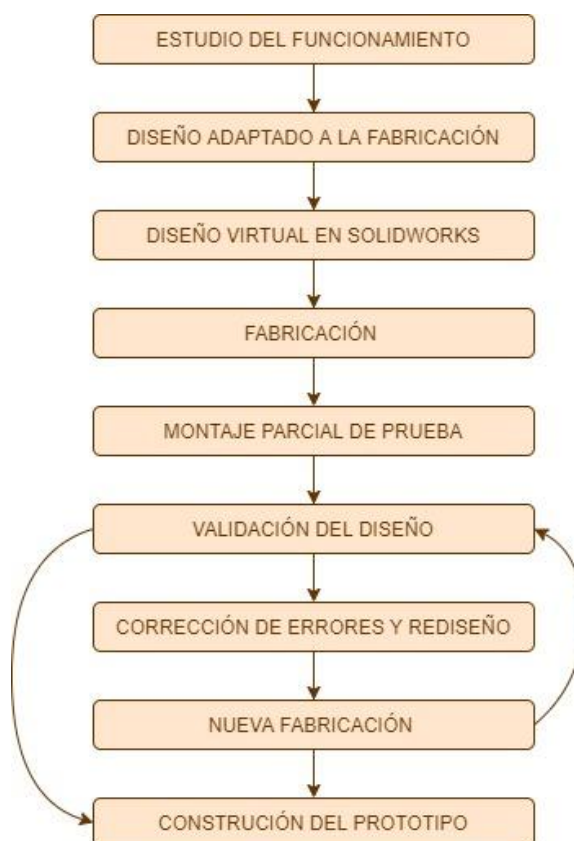


Figura 30: Metodología de trabajo

## 5. MODELO A ESCALA

La idea principal consiste en realizar una maqueta a escala del antiguo Reloj del Ayuntamiento de Pamplona. Para ello, se pretende respetar en la medida de lo posible la mayor parte de los detalles del reloj: número de engranajes, relaciones de transmisión, número de dientes, forma de los actuadores, estructura, etc. No obstante, en ocasiones esto no ha sido posible, ya que, gran parte de los elementos de la maqueta van a ser fabricados con impresora 3D y por motivo de las propiedades del material varios de ellos han tenido que sufrir alguna modificación (más adelante se mostrará en los apartados de diseño).

### 5.1. VALIDACIÓN ESCALA

Inicialmente, se quiso aplicar una escala de 1:3 o 1:4 al reloj, teniendo en cuenta las dimensiones finales que se querían obtener para la estructura.

Para validar esta escala, se analizó el componente más pequeño del mecanismo, el piñón de 8 dientes que se encuentra junto a la rueda de escape. Se pudo ver que el tamaño de este era demasiado pequeño y que esto imposibilitaba la fabricación de este con las impresoras 3D que se disponían.

Además, la galería de elementos normalizados del programa de diseño en 3D utilizado (SolidWorks) carecía de engranajes rectos con menos de 10 dientes. Por lo tanto, el uso de un piñón con 10 dientes complicaba más la fabricación de este con la impresora 3D, ya que la distancia entre dientes disminuía y de este modo imposibilitaba el espacio que necesitaba la boquilla de material.

Teniendo en cuenta estas dos complicaciones, se ha decidido comenzar a diseñar y a modificar las medidas del conjunto a partir del este piñón. Por lo tanto, se ha partido de un piñón de 10 dientes y módulo de 1,5 (\*). El módulo que se ha definido ha sido el mínimo posible, estando este condicionado por la fabricación (la mínima distancia entre dientes se determinó de 1,5 mm).

Por lo tanto, las dimensiones de este elemento han servido de referencia y el resto de los elementos se han diseñado en base a este, sin fijar una escala concreta.

\*Este elemento no ha sido el definitivo, ya que ha sufrido modificaciones en el número de dientes (se muestra en el apartado de diseño)



## 6. DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL TREN DE MOVIMIENTO

Considerando las medidas del mencionado piñón como punto de partida, se han diseñado los elementos del tren de engranajes correspondiente al mecanismo de movimiento que se muestran a continuación.

### 6.1. TREN DE ENGRANAJES

Los engranajes del tren de movimiento del prototipo han sufrido varias modificaciones hasta que han obtenido su estado final. A continuación, se muestra este proceso.

#### 6.1.1. PRIMER ENSAYO

Cómo se ha mencionado anteriormente, se han querido mantener las relaciones de transmisión entre los engranajes y sus respectivos dientes modificando tan solo el módulo para disminuir su tamaño. Pero, debido al elemento que condiciona toda la maqueta, se han tenido que recalcular el número de dientes de los engranajes de este tren para así poder mantener la misma relación de transmisión entre ellos.

De esta manera se han reemplazado los piñones de 8 dientes por engranajes normalizados de 10 dientes y se han calculado el resto de los engranajes manteniendo las relaciones de transmisión.

En la Tabla 3 se comparan el número de dientes (Z), la relación de transmisión (i), el módulo (m) y el diámetro primitivo (Dp) de los engranajes del reloj original y del primer diseño de la maqueta.

TREN DE MOVIMIENTO	RELOJ ORIGINAL				PRIMER DISEÑO PROTOTIPO			
ENGRANAJES	Z	i	m	Dp [mm]	Z	i	m	Dp [mm]
Piñón eje 1	8	7	3,5	28	10	7	1,5	15
Rueda eje 2	56			196	70			105
Piñón eje 2	8	9	3,5	28	10	9	1,5	15
Rueda eje 3	72			252	90			135
Piñón eje 3	10	8	4,5	45	10	8	2	20
Rueda engrane imperial	80			360	80			160
Relación de transmisión total:		504			504			

Tabla 3: Comparación de los parámetros de los engranajes del tren de movimiento entre el reloj original y el primer diseño del prototipo

Con estos valores, se realizó la impresión de los tres primeros ejes con sus respectivos engranajes y un soporte improvisado para comprobar la correcta transmisión de movimiento entre engranajes (Figura 31).



*Figura 31: Primer ensayo de una parte del tren de movimiento*

En esta primera prueba se comprobó que el engrane entre todas las ruedas era correcto. Sin embargo, se pudo observar que, girando el eje superior, el tren se movía sin esfuerzo pero desde el eje inferior, por mucha fuerza que se hiciera, el tren no conseguía moverse.

#### 6.1.2. SEGUNDO ENSAYO

Se hizo una segunda prueba para comprobar el funcionamiento del tren de movimiento añadiéndole peso en el eje inferior. Para ello se imprimieron todas las piezas exceptuando la parte del péndulo, para comprobar el tren de engranajes y determinar la masa de la pesa que le corresponde al respectivo tren.

Se pudo comprobar este ensayo en la Figura 32. En este, la estructura era de madera y el resto de las piezas de ABS (impresora 3D).



*Figura 32: Segundo ensayo del tren de movimiento*

En esta segunda prueba, se colgaron varios pesos de la cuerda que se encuentra enroscada al tambor de la rueda imperial para comprobar la fuerza necesaria para mover el tren.

El resultado de la prueba fue que el mecanismo no consiguió moverse por mucho peso que se colgará de él (se llegaron a colgar hasta 20kg).

Teniendo en cuenta que se mantuvieron las relaciones de transmisión de todo el tren de engranajes y que el peso original que corresponde a este tren es una masa de 100 kg, era de esperar que en esta prueba no se logrará el movimiento. Este peso también está relacionado con la fuerza de rozamiento entre los engranajes, pero se desconoce el valor de esta por el material.

Además de este inconveniente, al incorporar diferentes pesos al eje inferior, se pudo ver que este flectaba debido a la elevada masa.

Este peso también afectó a los soportes verticales, ya que, al no ser una estructura rígida, ésta se tambaleaba y estos soportes se doblaban hacia el exterior. Con este movimiento los ejes se desencajaban y se perdía el contacto entre los engranajes, desfavoreciendo así el movimiento del tren.

Para disminuir la fuerza necesaria para mover el tren, se decidió colocar el mecanismo de la rueda imperial en el eje anterior, además de disminuir las relaciones de transmisión del tren (esto implica un nuevo cálculo para los engranajes normalizados). Además, para que el par ejercido por la pesa sea mayor y así sea necesario aplicar menos peso, se decidió aumentar el diámetro del tambor (pieza cilíndrica a la que va enroscada la cuerda de la pesa) lo máximo posible.

Para evitar los futuros problemas que pudiera dar el último eje del tren, se decidió fabricar este de metal y no de ABS. De esta manera, el problema de la masa de la pesa que cuelga de la rueda imperial se reduciría.

Además, se decidió hacer la estructura más rígida añadiendo más puntos de unión entre los soportes verticales y aumentando el espesor de estos.

### 6.1.3. SOLUCIÓN ADOPTADA

Después de realizar la última prueba y aplicando nuevas soluciones a los inconvenientes encontrados, en la Tabla 4 se presentan los engranajes definitivos del tren de movimiento. En esta se comparan el número de dientes (Z), la relación de transmisión (i), el módulo (m) y el diámetro primitivo (Dp) de los engranajes del reloj original y del diseño final de la maqueta.

TREN DE MOVIMIENTO	RELOJ ORIGINAL				DISEÑO FINAL PROTOTIPO			
ENGRANAJES	Z	i	m	Dp [mm]	Z	i	m	Dp [mm]
Piñón eje 1	8	7	3,5	28	14	4	1,5	21
Rueda eje 2	56			196	56			84
Piñón eje 2	8	9	3,5	28	18	4	2,25	40,5
Rueda eje 3	72			252	72			162
Piñón eje 3	10	8	4,5	45	-	-	-	-
Rueda engrane imperial	80			360	-			-
Relación de transmisión total:		504			16			

Tabla 4: Comparación de los parámetros de los engranajes del tren de movimiento entre el reloj original y el diseño final del prototipo

En la presente tabla (Tabla 4) se puede ver que se han reducido las relaciones de transmisión entre los engranajes y se ha conseguido una **relación de transmisión total del tren de 16**, frente al 504 que se tenía en un primer momento, con el objetivo de reducir la masa de la pesa que hará funcionar este mecanismo.

Por otro lado, para determinar el número de dientes de los engranajes, se ha decidido mantener el número de dientes de las ruedas que componen a este tren, ya que no se podían mantener los 8 dientes de los piñones. Y con el número de dientes de las ruedas y las relaciones de transmisión se ha calculado el número de dientes de cada piñón.

Los diámetros primitivos de los engranajes imposibilitaban mantener el valor 1,5 del módulo en todos los engranajes, por lo que este se ha ido aumentando en base al espacio necesario entre ejes para el siguiente engranaje.

Todos estos engranajes rectos están normalizados y se han adquirido de la galería de elementos normalizados de transmisión de potencia de SolidWorks. Los piñones irán diseñados junto a su respectivo eje en una sola pieza (se muestra en el

apartado 6.2) y tienen un espesor de 15mm, mientras que las ruedas independientes contienen un espesor de 10mm. De esta manera, aumentando el espesor de los piñones, se ha querido asegurar el contacto total entre estos y las ruedas para una correcta transmisión de potencia.

Las ruedas correspondientes a este tren han sido modificadas añadiéndoles los 4 huecos característicos de estas y haciéndoles el agujero central necesario para la unión con el eje dependiendo de donde vayan colocados.

En el caso de que vayan encajados en el eje, tendrán un agujero cuadrado que posibilitará introducirlo en el poliedro cuadrado del eje con una holgura de 0,2mm en cada lado. Y en el caso de que sean introducidos en un rodamiento, como es el caso de la *Rueda 3* acoplada a la *Rueda imperial*, tendrán un agujero con el diámetro exterior del rodamiento, sin holgura para que entre con apriete.

Estas ruedas fueron fabricadas con la impresora 3D en las primeras pruebas, pero al ver que la fabricación de estas llevaba demasiado tiempo, y que había que realizar numerosas pruebas, se decidió hacerlas mediante la cortadora láser en MDF (el tiempo de fabricación era notablemente menor).

Al comprobar el movimiento del tren con estas ruedas de MDF, y siendo los piñones de ABS, se comprobó que la transmisión de potencia entre estos elementos era notoriamente mejor debido a la reducción del rozamiento entre los dientes. Mediante la cortadora laser se lograba un acabado superficial liso, favoreciendo así el contacto entre dientes. Por lo tanto, se decidió fabricar las ruedas independientes con MDF y los piñones de ABS.

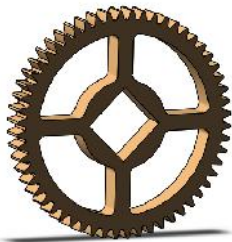
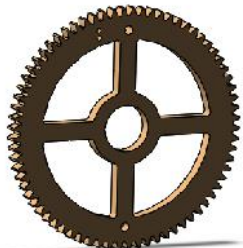
Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>RUEDA EJE 2</b>	Rueda del segundo eje del tren de movimiento. Engranaje recto normalizado.	 <p><i>Figura 33: Rueda 2 en SolidWorks</i></p>	$Z = 56$ $m = 1,5$ $D_p = 84\text{mm}$ Espesor = 10mm  Unión: Cuadrado de 20,2mm x 20,2mm	1
<b>RUEDA EJE 3</b>	Rueda del ultimo eje del tren de movimiento junto a la <i>Rueda imperial</i> . Engranaje recto normalizado.	 <p><i>Figura 34: Rueda 3 en SolidWorks</i></p>	$Z = 72$ $m = 2,25$ $D_p = 162\text{mm}$ Espesor = 10mm  Unión: Rodamiento de $\varnothing_{\text{ext}} = 32 \text{ mm}$	1

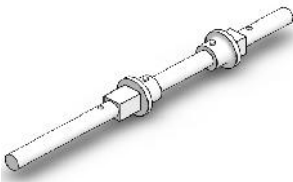

Tabla 5: Engranajes independientes del tren de movimiento

## 6.2. EJES Y UNIONES

Todos los ejes de este mecanismo menos el que contiene a la rueda imperial se han diseñado con su diámetro original de 10 mm. Esto se debe a los 210mm que tienen de longitud, ya que, esta no permite que se reduzca más el diámetro por la posible flexión creada por los elementos que contiene el eje.

Además, para facilitar el montaje y debido al pequeño tamaño de los piñones, estos se han fabricado junto al eje en una sola pieza de ABS mediante la impresora 3D. Se ha añadido un radio de acuerdo en la unión entre ellos para evitar la posible rotura.

Para hacer que las ruedas giren solidarias con sus respectivos ejes, se ha insertado un poliedro cuadrado en el eje, de forma que este encaje con el engranaje. Asimismo, para evitar que la rueda de engrane se desplace horizontalmente sobre el eje, se han añadido dos pasadores que atraviesan el eje perpendicularmente junto con dos arandelas para conseguir una presión superficial total, además de ocultar el poliedro mencionado. Una de las arandelas ira fabricada (con un falso pasador) junto al eje y el piñón para posibilitar el futuro montaje. Al otro lado del poliedro habrá un radio de acuerdo junto al eje para facilitar la inserción de la otra arandela.

Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>EJE ÁNCORA</b>	Eje superior del tren de movimiento con dos poliedros cuadrados para la inserción del <i>Áncora</i> y el soporte del <i>Tenedor</i> , con sus respectivas arandelas.	 <i>Figura 35: Eje del áncora en SolidWorks</i>	$\varnothing = 10 \text{ mm}$ $L = 210\text{mm}$  Uniones: Poliedros cuadrados de 12mm x 12mm	1
<b>ARANDEL A ÁNCORA</b>	Arandela del eje del <i>Áncora</i> para retener los elementos correspondientes a este eje.	 <i>Figura 36: Rueda 3 en SolidWorks</i>	$\varnothing_{\text{int}} = 10,5 \text{ mm}$ $\varnothing_{\text{ext}} = 16,5 \text{ mm}$  Base contacto: $\varnothing = 24,5 \text{ mm}$  Agujero pasador: $\varnothing = 3,1 \text{ mm}$	2

<b>EJE 1</b>	<i>Eje 1</i> del tren de movimiento con un piñón, un poliedro cuadrado para la inserción de la <i>Rueda de escape</i> y su respectiva arandela.	 <i>Figura 37: Eje 1 en SolidWorks</i>	$\varnothing = 10 \text{ mm}$ $L = 210 \text{ mm}$ Piñón: $Z = 14$ $m = 1.5$ Unión: Poliedro cuadrado de $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$	1
<b>EJE 2</b>	<i>Eje 2</i> del tren de movimiento con un piñón, un poliedro cuadrado para la inserción de la <i>Rueda 2</i> y su respectiva arandela.	 <i>Figura 38: Eje 2 en SolidWorks</i>	$\varnothing = 10 \text{ mm}$ $L = 210 \text{ mm}$ Piñón: $Z = 18$ $m = 2.25$ Unión: Poliedro cuadrado de $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$	1
<b>ARANDEL A</b>	Arandela de los ejes 1 y 2 para retener los elementos correspondientes a estos ejes.	 <i>Figura 39: Arandela en SolidWorks</i>	$\varnothing_{\text{int}} = 10,5 \text{ mm}$ $\varnothing_{\text{ext}} = 16,5 \text{ mm}$ Base contacto: $\varnothing = 34,5 \text{ mm}$ Agujero pasador: $\varnothing = 3,1 \text{ mm}$	2

Tabla 6: Ejes y uniones del tren de movimiento

### 6.3. RUEDA IMPERIAL

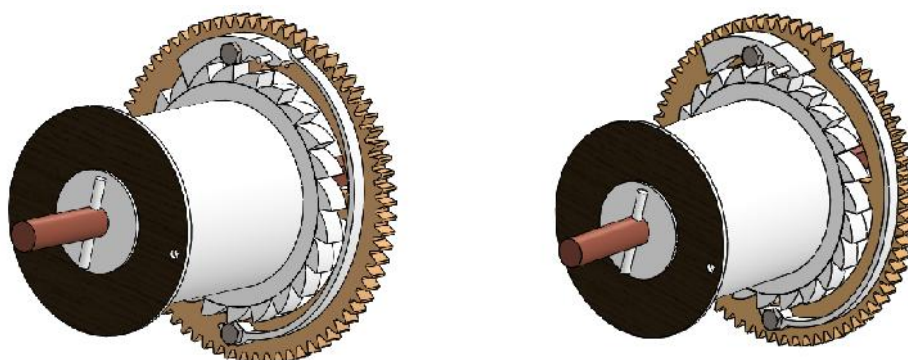
El conjunto de la rueda imperial lo contiene el último eje del tren (*Eje 3*). El diámetro de este eje se ha podido escalar de un valor de 30 mm a 15 mm, y como se ha dicho anteriormente para evitar la flexión de este, será un eje metálico.

Todos los elementos que componen la rueda imperial han sido diseñados a partir de las dimensiones de la rueda de engrane que contiene este. Además, para reducir la fuerza ejercida por la pesa se ha ampliado el diámetro del tambor todo lo posible, de esta manera la rueda trinquete será la que quede intermedia y límite el diámetro del tambor.

Tanto el tambor como la rueda trinquete deben girar solidarios al eje, por lo tanto, estos irán encajados en el eje mediante un saliente prismático que el eje llevará incorporado.



A la hora de darle cuerda al mecanismo, la rueda de engrane será liberada de la rueda imperial mediante el elemento llamado *Uña*. Para poder realizar esta acción, el engranaje ira introducido al eje mediante un rodamiento. De esta manera, cuando la uña esté en contacto con la rueda trinquete el engranaje girará solidario al eje y cuando esta se libere, solo la rueda imperial girara en el sentido opuesto para elevar la pesa. Así, la rueda de engrane no se verá afectada por este movimiento y el tren de engranajes podrá seguir funcionando sin ser alterado.



(a) Posición uña en funcionamiento

(b) Posición uña en "dar cuerda"

Figura 40: Conjunto de la rueda imperial del tren de movimiento en SolidWorks

Este mecanismo ha sufrido una leve modificación debido a las diferencias de las propiedades del material original y el empleado en el prototipo. El fleje que contiene la rueda de engrane no es metálico, por lo tanto, no puede realizar su función de bloquear el movimiento de la uña. Así pues, esta pieza no será funcional y para fijar las dos posiciones de la uña se utilizará un pasador que atravesará el extremo de la uña y la rueda de engrane (contiene un agujero para cada posición).

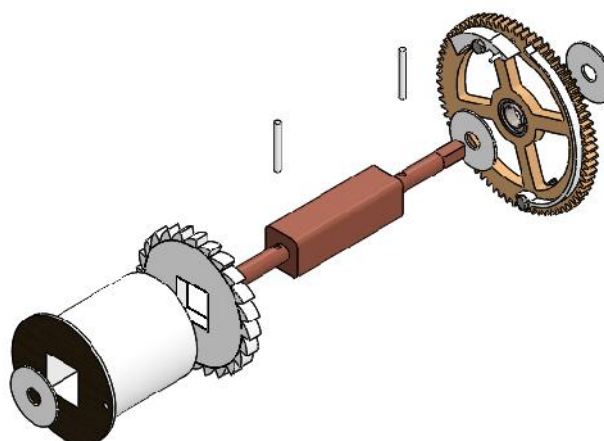
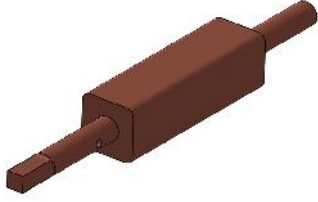
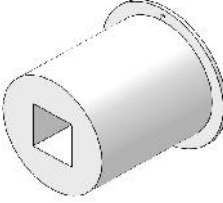
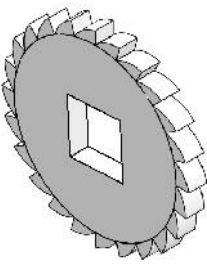
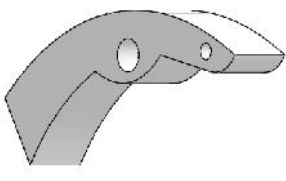


Figura 41: Despiece del conjunto de la Rueda imperial en SolidWorks



El eje de la rueda imperial contiene un cuadrado prismático para la introducción del tambor y la rueda trinquete, y para facilitar esta operación las esquinas de este han sido redondeadas. Además, uno de los extremos de este eje sobresale de la estructura y pasa de tener un perfil circular a cuadrado. Esto se debe a la futura colocación de una de las ruedas del sistema reductor a la hora de dar cuerda.

La Tabla 7 muestra los elementos que componen la *Rueda imperial*. Este mecanismo se encuentra en los trenes de engranajes del reloj, por lo que, estos elementos se repetirán en los tres trenes. El único elemento que los distingue es la *Rueda de engrane* y esta se define en los apartados 8.1 y 9.1.

Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>EJE 3</b>	Eje correspondiente a la <i>Rueda imperial</i> del tren de movimiento.	 <i>Figura 42: Eje 3 en SolidWorks</i>	$\varnothing = 15 \text{ mm}$ $L = 255 \text{ mm}$  Unión: Cuadrado prismático de 35x35x115 mm	1
<b>TAMBOR</b>	Pieza cilíndrica de la <i>Rueda imperial</i> , donde la cuerda que sujeta la pesa del tren será enroscada.	 <i>Figura 43: Rueda 3 en SolidWorks</i>	$\varnothing = 90 \text{ mm}$ $L = 103 \text{ mm}$  Unión: Cuadrado de 35,3x35,3 mm	2
<b>RUEDA TRINQUETE</b>	Rueda que se encuentra entre el <i>Tambor</i> y la <i>Rueda de engrane</i> , encargada arrastrar a esta última mediante la <i>Uña</i> .	 <i>Figura 44: Rueda trinquete en SolidWorks</i>	$\varnothing = 108 \text{ mm}$ Espesor = 12 mm  Unión: Cuadrado de 35,3x35,3 mm	1
<b>UÑA</b>	Elemento encargado de enlazar la <i>Rueda trinquete</i> y la <i>Rueda de engrane</i> .	 <i>Figura 45: Uña en SolidWorks</i>	$L = 65 \text{ mm}$	1



<b>FLEJE</b>	Elemento no funcional simulando el bloqueo del movimiento de la <i>Uña</i> .	 <p><i>Figura 46: Fleje imperial en SolidWorks</i></p>	L = 146 mm	1
<b>ARANDELA IMPERIAL</b>	Arandela plana ubicada en la <i>Rueda imperial</i> con objetivo de retener (junto a un pasador) el desplazamiento de los componentes.	 <p><i>Figura 47: Arandela imperial en SolidWorks</i></p>	$\varnothing_{\text{int}} = 15,2 \text{ mm}$ $\varnothing_{\text{ext}} = 50 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	3

Tabla 7: Elementos de la Rueda imperial

#### 6.4. ÁNCORA Y RUEDA DE ESCAPE

Se va a hacer hincapié en el diseño del Áncora, puesto que es una pieza fundamental para el correcto funcionamiento del reloj.

Este elemento estará compuesto por tres piezas: la central y una paleta a cada lado. Esto es para poder regular con precisión la posición correcta de las paletas del Áncora en relación con los dientes de la *Rueda de escape*.

La rueda de escape dispone de 30 dientes y se encuentra encajada en el eje 1 del tren de movimiento mediante un poliedro cuadrado.

El áncora va unido al eje superior del tren de movimiento con dos brazos con una paleta en cada lado. La geometría de esta pieza es de vital importancia para el correcto funcionamiento del reloj. Los ángulos de las paletas del áncora permiten que los dientes de la rueda de escape deslicen correctamente sobre ellas y así no alterar el mecanismo.

Para determinar la geometría del Áncora, se ha hecho uso de los valores que muestra la tabla de la Figura 48.: Geometría del áncora [14]

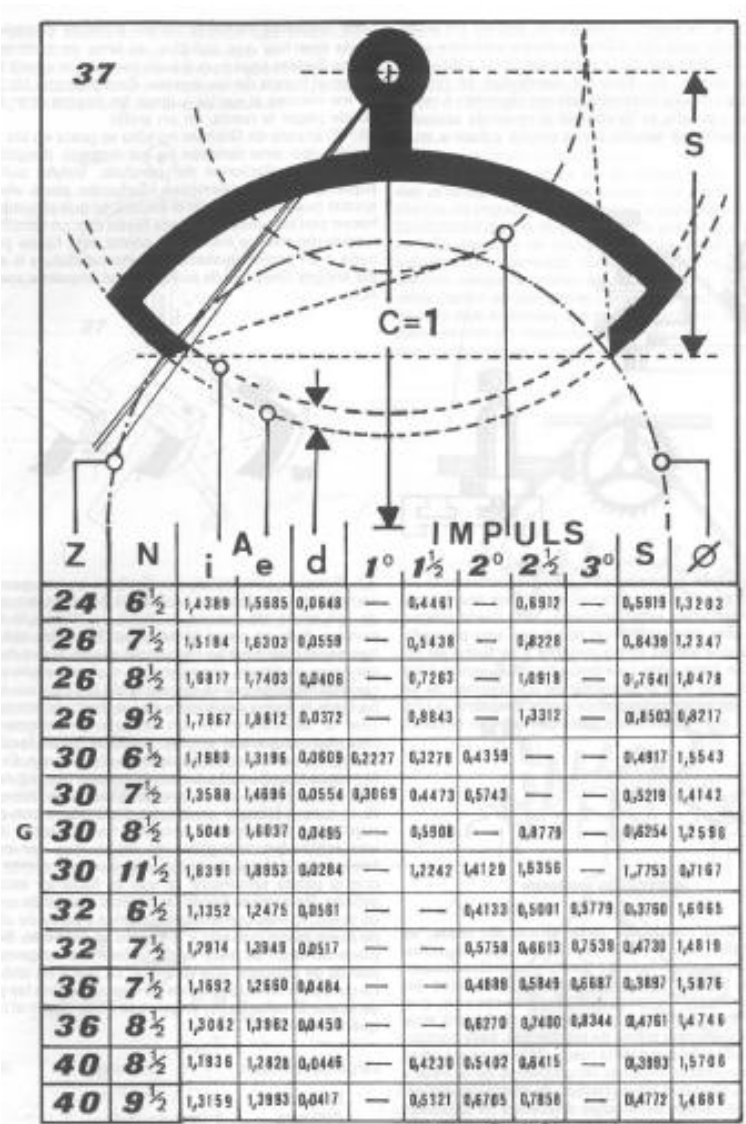


Figura 48: Geometría del áncora [14]

Las dimensiones que se muestran en las tablas están dadas en función de la distancia de centros ( $C=1$ ), luego será necesario recalcular dichos valores para la distancia de centros del prototipo del reloj ( $C=65\text{ mm}$ ).

Para encontrar los valores en la tabla, se conoce que la rueda de escape cuenta con **30 dientes ( $Z = 30$ )**. En este caso, observando el reloj, se ha comprobado que **9,75 dientes ( $N = 9.75$ )** se encuentran entre los brazos del Áncora. Debido a que este valor no se encuentra en la presente tabla, se ha desarrollado una nueva interpolando este valor (Tabla 8).

Z	N	i	e	d	S	D	IMPULS				
							1	1,5	2	2,5	3
30	8,5	1,5048	1,6037	0,0495	0,6254	1,2596	-	0,5908	0	0,8779	-
30	9,75	1,6441	1,7252	0,0407	0,6879	1,0334	-	0,8547	0,5887	1,1519	
30	11,5	1,8391	1,8953	0,0284	0,7753	0,7167	-	1,2242	1,4129	1,5356	-

Tabla 8: Interpolación para el valor de  $N=9,75$  mediante la tabla de Graham para la geometría del Áncora

Con esta tabla se han obtenido los valores para diseñar las paletas del Áncora en la siguiente tabla:

	VALORES SEGÚN TABLA GRAHAM [mm]
C	65,00
i	106,87
e	112,14
d	2,65
S	44,71
D	67,170
IMPULS 1,5	55,56
IMPULS 2	38,27
IMPULS 2,5	74,88

Tabla 9: Valores para la geometría del áncora según la tabla Graham

Los valores señalados en color verde son los que se han aplicado en el diseño que se muestra a continuación (Figura 49).

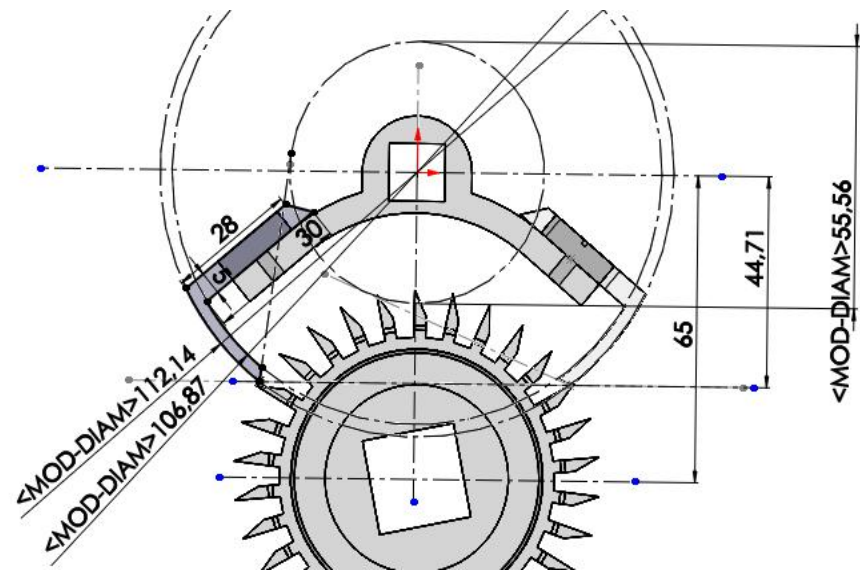


Figura 49: Diseño de las paletas del Áncora

La Tabla 10 muestra las tres piezas que forman el Áncora.

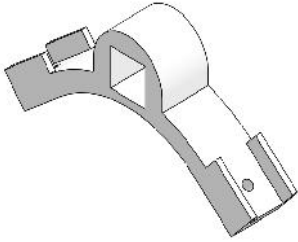
Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>ÁNCORA CENTRAL</b>	Elemento de unión y sujeción de las paletas del Áncora.	 <p><i>Figura 50: Áncora central en SolidWorks</i></p>	$\varnothing = 10 \text{ mm}$ $L = 210 \text{ mm}$  Unión: Cuadrado de 12,2x12,2 mm	1
<b>ÁNCORA DERECHA</b>	Paleta encargada de ponerse en contacto con los dientes de la <i>Rueda de escape</i> con su cara exterior (más larga). Se encuentra en el lado derecho desde la vista donde se encuentra la esfera del reloj.	 <p><i>Figura 51: Áncora derecha en SolidWorks</i></p>	$L = 30 \text{ mm}$	1
<b>ÁNCORA IZQUIERDA</b>	Paleta encargada de ponerse en contacto con los dientes de la <i>Rueda de escape</i> con su cara interior (más larga). Se encuentra en el lado izquierdo desde la vista donde se encuentra la esfera del reloj.	 <p><i>Figura 52: Áncora izquierda en SolidWorks</i></p>	$L = 30 \text{ mm}$	1

Tabla 10: Los tres componentes que forman el Áncora

La pieza central contiene dos paredes en sus dos extremos que limitan el movimiento de giro a las paletas. Para poder regular las posiciones de las paletas, estas contienen un *agujero coliso* a lo largo de la cara de contacto con la pieza central. De este modo, para fijar la posición de estas y bloquear su deslizamiento se añade un tornillo con su tuerca de M3 en el mencionado agujero y el agujero que contiene el elemento central.

## 6.5. PÉNDULO

El péndulo es otro de los elementos fundamentales que hay que determinar con precisión para un correcto funcionamiento del reloj, ya que, las oscilaciones de este determinarán el ritmo del reloj. El parámetro que establece la precisión del reloj es la

longitud del péndulo, es decir, la posición del centro de gravedad del péndulo respecto a la articulación.

En el siguiente apartado se van a realizar una serie de cálculos para determinar el periodo de oscilación y la longitud del péndulo correspondientes al prototipo diseñado.

#### 6.5.1. CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL PÉNDULO

En el caso del antiguo reloj del Ayuntamiento de Pamplona, la determinación para comenzar a calcular la longitud del péndulo sería la condición de la velocidad angular del eje de la rueda minuterá, ya que este debe dar una vuelta en una hora. Con esta velocidad y conociendo el número de dientes de la rueda minuterá ( $Z = 36$ ), la longitud del péndulo fue calculada en el proyecto “Restauración y puesta en marcha del antiguo reloj del Ayuntamiento de Pamplona” [1] y dio un valor de **3,6 metros**.

En el prototipo, este valor será muy diferente, ya que, no se han respetado las relaciones de transmisión entre los engranajes del tren de movimiento. Pero, además, una longitud de péndulo de ese calibre sería totalmente inviable para la construcción y la puesta en marcha del prototipo.

Por ello, se ha invertido este cálculo y la condición inicial que determinará el resto de los valores será que la **longitud del péndulo sea inferior a 1 metro**. Con esta determinación y la variable de la velocidad angular del eje minuterá se establecerá el número de dientes de la rueda minuterá.

De esta manera, con el valor de 1 m de longitud de péndulo y la siguiente ecuación se calcula el periodo de oscilación ( $T$ ).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

*Ecuación 1: Fórmula del periodo*

Consiguiendo un valor de  **$T = 2,006$  s**, se calcula el número de oscilaciones por hora del péndulo.

$$n_{pend} = \frac{1}{T}$$

*Ecuación 2: Número de oscilaciones*

Con este nuevo valor y el número de dientes de la rueda de escape ( $Z=30$ ), se calcula la velocidad de la rueda de escape.

$$\omega_{esc} = \frac{n_{pend}}{Z_{esc}}$$

*Ecuación 3: Velocidad de la rueda de escape*

$$\omega_{esc} = 59,82 \text{ vueltas/h}$$

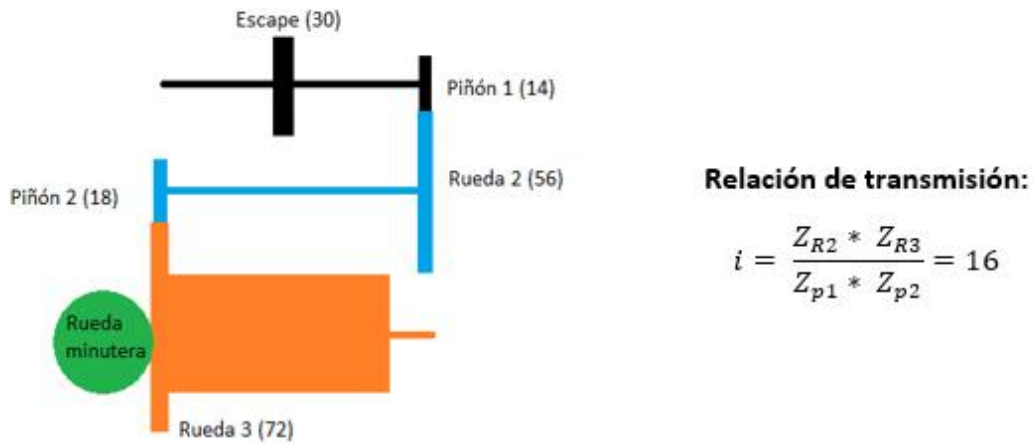


Figura 53: Relación de transmisión del tren de movimiento, desde el piñón del eje 1 hasta la rueda del eje 3

Con la relación de transmisión y la velocidad de la rueda de escape adquirida, se calcula la velocidad de la rueda del eje 3.

$$\omega_{r3} = \frac{\omega_{esc}}{i} = \frac{\omega_{p1}}{i}$$

Ecuación 4: Velocidad de la Rueda 3

Con este valor y la ecuación que se muestra a continuación se ha hecho una tabla (Tabla 11) con diferentes valores para el número de dientes de la rueda minuterá teniendo como variable la velocidad de la rueda minuterá.

$$\omega_{min} * Z_{min} = \omega_{r3} * Z_{r3}$$

Ecuación 5: Relación de transmisión



Wmin (vueltas/h)	Zmin(dientes)
1	269,18
2	134,59
3	89,73
4	67,30
5	53,84
6	44,86
7	38,45
8	33,65
9	29,91
10	26,92
11	24,47
12	22,43
13	20,71
14	19,23
15	17,95
16	16,82

Tabla 11: Valores del número de dientes de la rueda minutera variando la velocidad del eje minutero

Será necesario redondear el número de dientes para conseguir un valor con coherencia.

Los valores marcados con color verde han sido los más coherentes, ya que el tamaño de la rueda minutera de ese número de dientes es adecuado para el espacio que se precisa.

Finalmente, con la rueda minutera de **24 dientes** y su velocidad de **12 vueltas por hora**, se calcula la longitud del péndulo que corresponde a estos valores realizando el cálculo que se ha desarrollado de manera inversa. De esta manera se consigue la longitud del péndulo final del prototipo:

$$L = 0,8735m$$

Esta longitud estará determinada por el punto de la articulación del fleje y el centro de gravedad del péndulo. En este caso, teniendo en cuenta los materiales empleados, y el peso de estos, se podría despreciar la masa de la barra del péndulo y por lo tanto el centro de gravedad del péndulo se encontraría en el mismo punto que el centro de gravedad que la pesa.

#### 6.5.2. ALTERNATIVAS ESTUDIADAS

Con la intención de ceñirse expresamente a la fabricación por impresora 3D y así no utilizar el fleje metálico, se diseñó inicialmente un prototipo para el soporte del péndulo que simulaba el movimiento del fleje.

Este consistía en un soporte cilíndrico anclado a la estructura con un hueco para introducir dos rodamientos. En estos rodamientos se introducía una pieza cilíndrica que terminaba con un adaptador para enganchar la barra del péndulo. Además, contenía



una tapa junto con dos pasadores que cerraba el cilindro del soporte para bloquear el desplazamiento de los rodamientos. Y de esta manera, se conseguía el movimiento de oscilación del péndulo.

En la Figura 54 se puede observar el conjunto y el despiece del mecanismo mencionado.

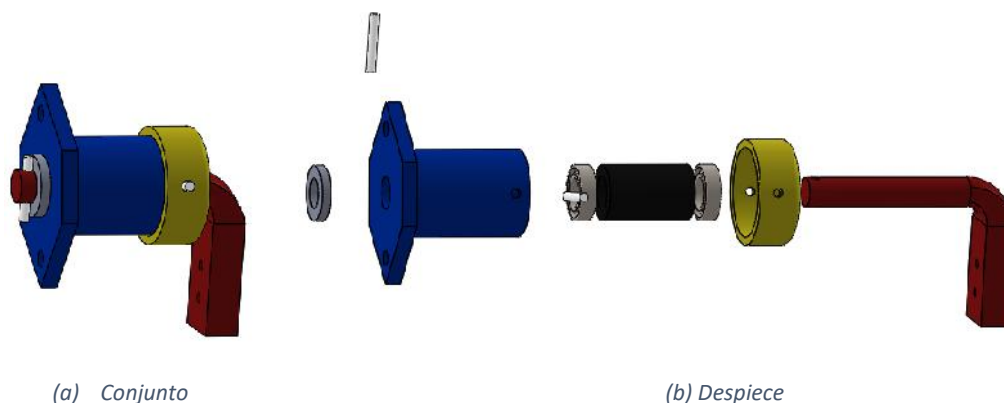


Figura 54: Primera alternativa para el soporte del péndulo

Una vez fabricada esta alternativa mediante a impresora 3D, se pudo comprobar que realizaba correctamente el movimiento oscilatorio del péndulo, pero a los pocos segundos (aproximadamente a las 20 oscilaciones), el péndulo se acababa parando. Por ello, se quiso realizar la prueba con el elemento indispensable que contienen la mayoría de los relojes mecánicos: el fleje.

### 6.5.3. SOLUCIÓN ADOPTADA

Como se acaba de mencionar, se ha optado por incluir el fleje metálico como articulación para el movimiento oscilatorio del péndulo, ya que, es un elemento clave para este mecanismo.

Como fleje se tiene una lámina metálica de un espesor de 0,5mm que estará sujeta en la parte superior de la estructura del primer tren. El soporte del fleje será una pieza cilíndrica introducida en la estructura con un pequeño hueco para el fleje y el agarre se llevará a cabo mediante dos tornillos y tuercas.

La longitud del fleje del prototipo es la misma que el fleje del reloj original, ya que, se quería favorecer el recorrido del péndulo sin que la longitud del fleje causará problemas.

Por otro lado, la barra del péndulo será una lámina de MDF que irá paralela a la estructura. Y teniendo en cuenta que el fleje está colocado de manera perpendicular a ésta, será necesaria una pieza que realice este cambio de plano y qué haga de unión de estos dos elementos.

En la presente tabla (Tabla 12) se muestran los mencionados elementos.

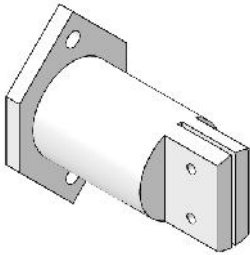

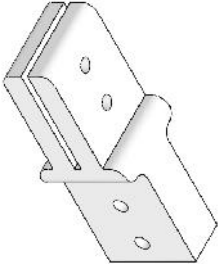

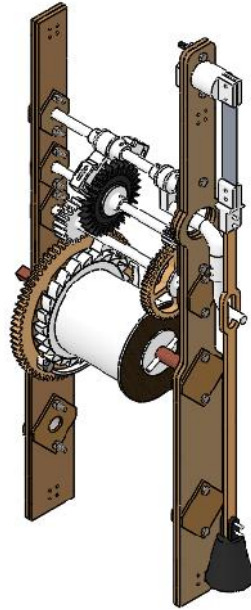
Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>SOPORTE FLEJE</b>	Soporte del fleje atornillado a la estructura. La unión con el fleje se hace mediante dos pasadores.	 <p><i>Figura 55: Soporte fleje en SolidWorks</i></p>	$\varnothing = 30 \text{ mm}$ $L = 65 \text{ mm}$	1
<b>FLEJE</b>	Elemento que posibilita el movimiento oscilatorio del péndulo.	 <p><i>Figura 56: Fleje en SolidWorks</i></p>	$L = 150 \text{ mm}$	1
<b>AGARRE PÉNDULO</b>	Pieza encargada de unir el fleje con la barra del péndulo.	 <p><i>Figura 57: Agarre del péndulo en SolidWorks</i></p>	$L = 55 \text{ mm}$	1
<b>BARRA PÉNDULO</b>	Elemento que determina la longitud del péndulo y sujeta la pesa de este. Contiene un hueco para la inserción del tenedor.	 <p><i>Figura 58: Barra péndulo en SolidWorks</i></p>	$L = 600 \text{ mm}$ Sección: $12 \times 5 \text{ mm}$	1

Tabla 12: Elementos que componen el péndulo

Finalmente, en la Figura 59 se muestra la apariencia que tendrá el prototipo del tren de movimiento con sus respectivos soportes en el programa de diseño en 3D.



*Figura 59: Tren de movimiento con sus respectivos soportes en SolidWorks*

## 7. DISEÑO DEL PROTOTIPO DE LA RUEDA MINUTERA

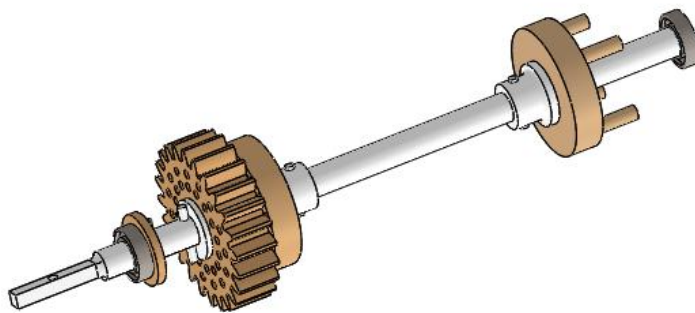
Una vez obtenido el número de dientes de la rueda minuterá, como ya se ha visto en el apartado CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL PÉNDULO, se procede a su diseño.

Como ya se explicó en la parte del funcionamiento del mecanismo, la rueda minuterá contiene un embrague que le permite girar con el eje cuándo la aguja avanza pero que no lo hace cuando se quiere atrasar la hora y esta retrocede.

Para aplicar esta acción al prototipo, se pensó inicialmente en introducir el mecanismo de la rueda imperial, mediante la rueda trinquete y la uña, pero, la rueda minuterá era demasiado pequeña para aplicar esta solución.

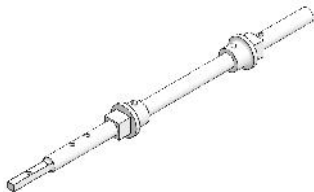
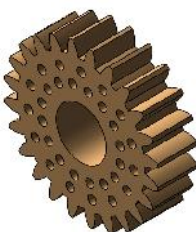
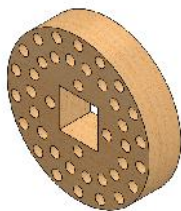

Por lo tanto, para cumplir este funcionamiento se han adaptado los elementos y en modo de embrague se ha diseñado una rueda totalmente agujereada que gira solidaria al eje (encajada mediante un poliedro cuadrado). La rueda minuterá también contiene todos estos agujeros y gira sobre un rodamiento introducido en el eje. Cuando el mecanismo esté en funcionamiento, mediante un pasador se unirá al mencionado embrague, y en el momento que se quiera retrasar la hora simplemente habrá que quitar el pasador, rompiendo la unión entre las dos ruedas, y así el giro del eje no alterará el tren de movimiento.

El eje contiene dos poliedros cuadrados para encajar por un lado el embrague de la rueda minuterá y por otro la rueda pivotada. Además, el extremo que sobresale de la estructura, cruzando la esfera, pasa de tener un perfil circular a tener un perfil cuadrado para la posible introducción de la aguja minuterá.



*Figura 60: Conjunto del eje minuteró y sus componentes en SolidWorks*

En la siguiente tabla (Tabla 13) se muestran todos los elementos recién mencionados.

Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>EJE MINUTERO</b>	Eje correspondiente a la <i>Rueda minuter</i> . Encargado de marcar la velocidad que llevará la aguja minuter.	 <i>Figura 61: Eje minuter en SolidWorks</i>	$\varnothing = 10 \text{ mm}$ $L = 252,5 \text{ mm}$  Uniones: Poliedro cuadrado de 12x12x10 mm	1
<b>RUEDA MINUTERA</b>	Rueda que engrana con la tercera rueda del tren de movimiento.	 <i>Figura 62: Rueda minuter en SolidWorks</i>	$Z = 24$ $m = 2,25$ $D_p = 56 \text{ mm}$ Espesor = 15 mm  Unión: Rodamiento $\varnothing_{\text{ext}} = 19 \text{ mm}$	1
<b>EMBRAGUE</b>	Rueda con objetivo de unir la <i>Rueda minuter</i> con el eje, y hacer que gire con este.	 <i>Figura 63: Embrague en SolidWorks</i>	$\varnothing = 45 \text{ mm}$ $e = 10 \text{ mm}$  Unión: Poliedro cuadrado de 12,2x12,2x10 mm	1
<b>AGUJA MINUTERA</b>	Aguja encargada de marcar los minutos transcurridos en la esfera del prototipo.	 <i>Figura 64: Aguja minuter en SolidWorks</i>	$L = 110 \text{ mm}$ $e = 5 \text{ mm}$  Unión: Cuadrado de 5,10x5,10 mm	1

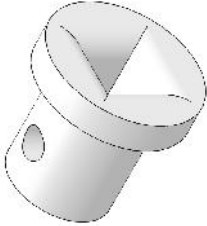
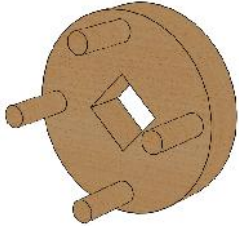
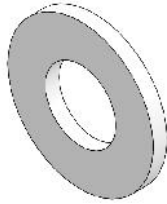
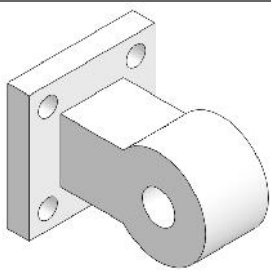
<b>ARANDELA AGUJA</b>	Arandela que bloquea el desplazamiento de la aguja en el eje.	 <p><i>Figura 65: Arandela aguja en SolidWorks</i></p>	$\varnothing_{\text{ext}} = 10 \text{ mm}$ Interior: 5,10x5,10 mm  Base contacto: $\varnothing = 15 \text{ mm}$ Agujero pasador: $\varnothing = 3,1 \text{ mm}$	1
<b>RUEDA PIVOTADA</b>	Rueda encargada de transmitir el movimiento a la <i>Primera palanca</i> para activar la sonería de cuartos.	 <p><i>Figura 66: Rueda pivotada en SolidWorks</i></p>	$\varnothing = 45 \text{ mm}$ $e = 10 \text{ mm}$  Pivotes: $L = 15 \text{ mm}$  Unión: Cuadrado 12,2x12,2 mm	1
<b>ARANDELA</b>	Evita el desplazamiento de la <i>Rueda pivotada</i> a lo largo del eje.	 <p><i>Figura 67: Arandela en SolidWorks</i></p>	$\varnothing_{\text{int}} = 10,2 \text{ mm}$ $\varnothing_{\text{ext}} = 21 \text{ mm}$ $e = 2 \text{ mm}$	3

Tabla 13: Eje minuterio y sus componentes

## 7.1. PRIMERA PALANCA

El soporte de la primera palanca estará unido a uno de los soportes horizontales de la estructura. Este soporte y la primera palanca se unirán mediante un tornillo y tuerca que permitirá el movimiento oscilante de la palanca (se muestran en la Tabla 14).

Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>SOPORTE PRIMERA PALANCA</b>	Posibilita el movimiento oscilante de la <i>Primera palanca</i> además de sujetar esta la estructura.	 <p><i>Figura 68: Soporte primera palanca en SolidWorks</i></p>	Base: 20x20x 3,5 mm	1

<b>PRIMERA PALANCA</b>	Actuador en forma de Y encargado de activar la sonería de cuartos.	 <p><i>Figura 69: Primera palanca en SolidWorks</i></p>	L = 120 mm	1
----------------------------	--	--	------------	---

Tabla 14: Primera palanca y su soporte

## 8. DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL TREN DE CUARTOS

Una vez realizado el diseño del prototipo de tren de movimiento y haber hecho sus respectivas pruebas se procede a diseñar el tren de cuartos.

### 8.1. TREN DE ENGRANAJES

En el caso del tren de engranajes de los cuartos va a existir el mismo problema con la relación de transmisión del tren y la pesa necesaria para mover este. Así que también se va a modificar la relación de transmisión de los dientes. Pero tan sólo de la última rueda de engrane de la rueda imperial con su respectivo piñón, ya que es necesario mantener la relación de transmisión de las primeras ruedas porque la sonería depende de esta relación.

En la Tabla 15 se muestra la comparativa de los valores de los engranajes del tren de cuartos del reloj y del prototipo.

TREN DE CUARTOS	RELOJ ORIGINAL				DISEÑO PROTOTIPO			
ENGRANAJES	Z	i	m	Dp [mm]	Z	i	m	Dp [mm]
Piñón eje 1	8	7	3,5	28	10	7	1,5	15
Rueda eje 2	56			196	70			105
Piñón eje 2	7	10	3,5	24,5	10	10	1,75	17,5
Rueda eje 3	70			245	100			175
Piñón eje 3	8	12	4,5	36	40	2,4	1,75	70
Rueda engrane imperial	96			432	96			168
Relación de transmisión total:		840			168			

Tabla 15: Comparación de los parámetros de los engranajes del tren de cuartos entre el reloj original y el diseño final del prototipo

Cómo se muestra en la Tabla 15, se ha conseguido reducir la relación de transmisión total del tren de cuartos de 840 a 168. La reducción no ha sido tanto como el primer tren, pero es un cambio notable y se hará notar a la hora de colgar la pesa.

A continuación, se muestran todas las ruedas del tren de movimiento (Tabla 16).



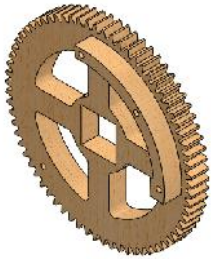
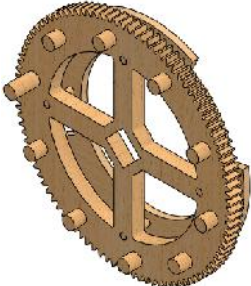
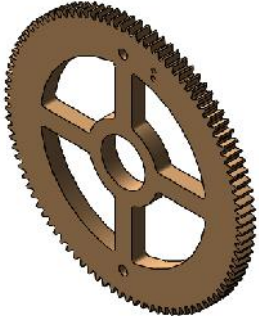
Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>RUEDA 2 CON FLEJE</b>	Rueda del eje 2 del tren de cuartos, donde se aposenta el <i>Fleje</i> que toma parte en el bloqueo de este sistema.	 <p><i>Figura 70: Rueda 2 en SolidWorks</i></p>	$Z = 70$ $m = 1,5$ $D_p = 105\text{mm}$ Espesor = 10mm  Unión: Cuadrado de 20,2mm x 20,2mm	1
<b>RUEDA CONTADORA</b>	Rueda que contiene los pivotes para hacer sonar la sonería de cuartos, además del disco que contabiliza el número de toques.	 <p><i>Figura 71: Rueda contadora en SolidWorks</i></p>	$Z = 100$ $m = 1,75$ $D_p = 175\text{mm}$ Espesor = 10mm Pivotes: $\varnothing = 5\text{ mm}$ $L = 10\text{ mm (x9)}$ $L = 20\text{ mm (x1)}$ Unión: Cuadrado de 20,2mm x 20,2mm	1
<b>RUEDA ENGRANE IMPERIAL</b>	Última rueda del tren de cuartos que estará acompañada por la <i>Uña</i> y el <i>Fleje</i> para unirlo con la <i>Rueda trinquete</i> .	 <p><i>Figura 72: Rueda engrane imperial en SolidWorks</i></p>	$Z = 96$ $m = 1,75$ $D_p = 168\text{mm}$ Espesor = 10mm  Unión: Rodamiento de $\varnothing_{\text{ext}} = 32\text{ mm}$	1

Tabla 16: Ruedas que contiene el mecanismo del tren de cuartos

La rueda imperial de este tren de cuartos está formada por los mismos elementos que la del tren de movimiento y funciona de la misma manera.

## 8.2. EJES Y UNIONES

Los ejes y las uniones de este tren se realizarán de la misma manera que en el tren del movimiento, es decir, los piñones se fabricarán junto a los ejes y para unir las ruedas se utilizarán poliedros cuadrados junto a los estos.

En la presente tabla (Tabla 17) se presentan todas estas piezas.

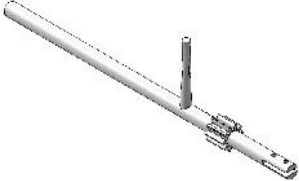
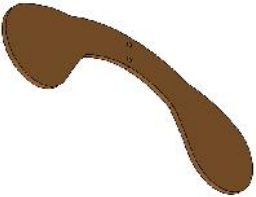
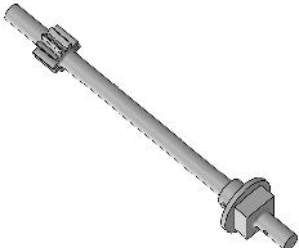
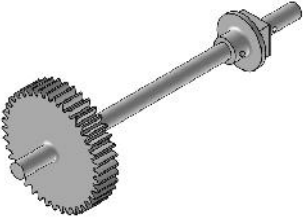
Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Canti- dad
<b>EJE 1</b>	Eje superior del tren de cuartos con un pivote para realizar la acción de <i>aviso</i> , el piñón y una ranura en el extremo que conlleva el <i>Venterol</i> .	 <i>Figura 73: Eje 1 en SolidWorks</i>	$\varnothing = 10 \text{ mm}$ $L = 240 \text{ mm}$ Piñón: $Z = 10$ $D_p = 15 \text{ mm}$ Pivote: $\varnothing = 5 \text{ mm}$ $L = 52 \text{ mm}$	1
<b>VENTEROL</b>	Elemento que hace de volante de inercia cuando el mecanismo se acelera.	 <i>Figura 74: Venterol en SolidWorks</i>	Espesor = 3 mm	1
<b>EJE 2</b>	Segundo eje del tren de cuartos que contiene la <i>Rueda 2</i> del mecanismo.	 <i>Figura 75: Eje 2 en SolidWorks</i>	$\varnothing = 10 \text{ mm}$ $L = 210 \text{ mm}$ Piñón: $Z = 10$ $D_p = 17,5 \text{ mm}$  Unión: Poliedro cuadrado de 20x20x10 mm	1
<b>EJE 3</b>	Tercer eje del tren de cuartos que contiene la <i>Rueda contadora</i> del mecanismo.	 <i>Figura 76: Eje 3 en SolidWorks</i>	$\varnothing = 10 \text{ mm}$ $L = 210 \text{ mm}$ Piñón: $Z = 40$ $D_p = 70 \text{ mm}$  Unión: Poliedro cuadrado de 20x20x10 mm	1

Tabla 17: Ejes y algún elemento del tren de cuartos

Los ejes 2 y 3 llevarán a cada arandela (mostrada en la Figura 39) para bloquear el desplazamiento de las ruedas que contienen.

### 8.3. SONERÍA DE CUARTOS

Para diseñar la segunda palanca y los actuadores de sonido del tren de cuartos, se ha imitado la forma original escalada al prototipo y una vez introducida en el conjunto en SolidWorks se han ido modificando para que el contacto entre elementos sea preciso (Elementos mostrados en la Tabla 18).

La *Segunda palanca* está formada por su respectivo eje, el brazo semicircular que mediante su contacto con el fleje de la *Rueda 2* consigue bloquear el mecanismo y el brazo que irá a la rueda contadora.

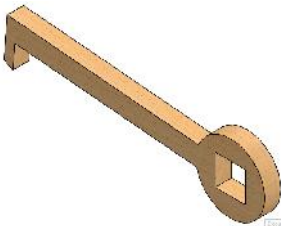
Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>EJE SEGUNDA PALANCA</b>	Este eje contiene el brazo del <i>Actuador de bloqueo</i> y el del <i>Actuador contador</i> .	 <i>Figura 77: Eje segunda palanca en SolidWorks</i>	$\varnothing = 10 \text{ mm}$ $L = 200 \text{ mm}$  Uniones: Poliedros cuadrados de 15x15x8 mm	1
<b>ACTUADOR DE BLOQUEO</b>	La base del longitudinal de éste será el que bloquee el mecanismo con su contacto con el fleje y la parte semicircular entrará en contacto con la primera palanca y será desplazado por este.	 <i>Figura 78: Actuador de bloqueo en SolidWorks</i>	$L = 205 \text{ mm}$	1
<b>ACTUADOR CONTADOR</b>	El extremo de este elemento estará en contacto con el perímetro del disco de la <i>Rueda contadora</i> y será el que marque el número de toques de campana en los cuartos.	 <i>Figura 79: Actuador contador en SolidWorks</i>	$L = 122 \text{ mm}$	1

Tabla 18: Componentes de la segunda palanca del tren de sonería de cuartos

Los dos actuadores tendrán bloqueado su deslizamiento sobre su eje mediante dos arandelas como las empleadas anteriormente (Figura 39).

Los actuadores de sonido tendrán su respectivo eje, en este caso con el mismo diseño, y estarán colocadas debajo del eje de la segunda palanca (elementos mostrados en Tabla 19).

Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>EJE SONERÍA CUARTOS</b>	Cada uno de estos ejes contiene el actuador de sonería de cuartos.	 <i>Figura 80: Eje sonería cuartos en SolidWorks</i>	$\varnothing = 10 \text{ mm}$ $L = 200 \text{ mm}$  Unión: Poliedro cuadrado de 15x15x8 mm	2
<b>ACTUADOR SONERÍA CUARTOS 1</b>	Uno de los actuadores en contacto con los pivotes de la rueda contadora.	 <i>Figura 81: Actuador sonería de cuartos 1 en SolidWorks</i>	$L = 210 \text{ mm}$  Unión: Cuadrado 15,2x15,2 mm	1
<b>ACTUADOR SONERÍA CUARTOS 2</b>	Uno de los actuadores en contacto con los pivotes de la rueda contadora.	 <i>Figura 82: Actuador sonería de cuartos 2 en SolidWorks</i>	$L = 185 \text{ mm}$	1
<b>ARANDELA SONERÍA</b>	Elemento que retiene los actuadores de sonería de cuartos a lo largo del eje con la ayuda de un pasador.	 <i>Figura 83: Arandela sonería en SolidWorks</i>	$\varnothing_{\text{int}} = 10,5 \text{ mm}$ $\varnothing_{\text{ext}} = 28 \text{ mm}$ $e = 3 \text{ mm}$	4

Tabla 19: Componentes de los actuadores de sonería de cuartos

Tanto el eje de la segunda palanca cómo los de los actuadores de sonería de cuartos se encuentran en uno de los extremos de la estructura. Para acoplar los ejes a esta se han diseñado dos acoplamientos iguales (Tabla 20) que contienen 3 huecos para introducir los rodamientos correspondientes a los ejes y otros 3 agujeros para que puedan ser atornillados a la estructura.

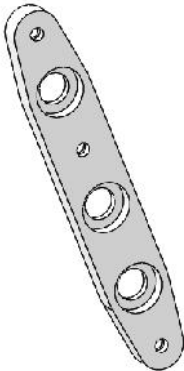
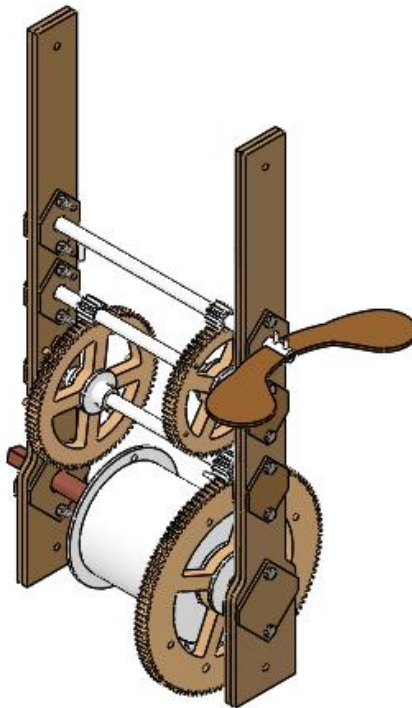
Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Canti- dad
<b>ACOPLAMIENTO EJES CUARTOS</b>	Acoplamiento para el eje de la <i>Segunda palanca</i> y los dos ejes de los actuadores de la sonería de cuarto.	 <i>Figura 84: Acoplamiento ejes cuartos en SolidWorks</i>	Huecos rodamientos: $\varnothing = 19\text{ mm}$ $e = 5\text{ mm}$  $L = 135\text{ mm}$	2

Tabla 20: Acoplamiento eje cuartos

## 9. DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL TREN DE HORAS

En la Figura 85 se muestra el prototipo del tren de horas y a continuación se explicará el diseño de todos sus componentes.



*Figura 85: Tren de horas con sus respectivos soportes en SolidWorks*

### 9.1. TREN DE ENGRANAJES

En el caso del tren de engranajes de la sonería de horas, no se han podido modificar las relaciones de transmisión entre los engranajes debido a que la rueda contadora de los toques que debe dar la campana se encuentra en la última rueda del tren, es decir, en el último eje junto a la Rueda imperial. Por ello, se han mantenido las relaciones de transmisión entre los engranajes de todo el tren y tanto la sonería como el desarrollo de este tren se ha dejado para un proyecto futuro.

Los piñones sí que han sido modificados al número de dientes mínimo que se encuentra en la galería de engranajes normalizados y a partir de éstos, con la relación de transmisión, se ha calculado el número de dientes del resto de ruedas (Tabla 21).

TREN DE HORAS	RELOJ ORIGINAL				DISEÑO PROTOTIPO			
ENGRANAJES	z	i	m	Dp [mm]	z	i	m	Dp [mm]
Piñón eje 1	8	7	3,5	28	10	7	1,5	15
Rueda eje 2	56			196	70			105
Piñón eje 2	8	8	3,5	28	10	8	1,5	15
Rueda eje 3	64			224	80			120
Piñón eje 3	8	9,75	4,5	36	12	9,75	1,5	18
Rueda engrane imperial	78			351	117			175,5
Relación de transmisión total:		546			546			

Tabla 21 : Comparación de los parámetros de los engranajes del tren de horas entre el reloj original y el diseño final del prototipo

A continuación, se muestran las ruedas de este tren de horas (Tabla 22).

Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>RUEDA 2 CON FLEJE</b>	Rueda del eje 2 del tren de horas, donde se aposenta el <i>Fleje</i> que toma parte en el bloqueo de este sistema.	 <p><i>Figura 86: Rueda 2 en SolidWorks</i></p>	<p>Z = 70 Dp = 105mm e = 10mm</p> <p>Unión: Cuadrado de 20,2mm x 20,2mm</p>	1
<b>RUEDA 3</b>	Rueda del eje 3 del tren de horas, con 8 pivotes	 <p><i>Figura 87: Rueda 3 en SolidWorks</i></p>	<p>Z = 80 Dp = 120mm e = 10mm</p> <p>Pivotes: Ø = 5 mm L = 10 mm</p> <p>Unión: Cuadrado de 20,2mm x 20,2mm</p>	1



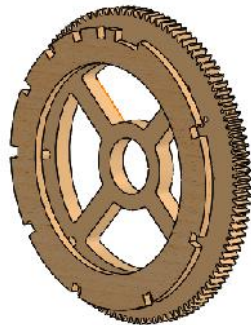
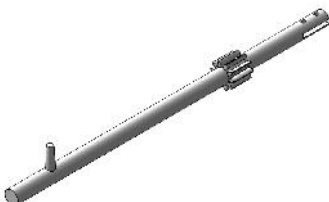
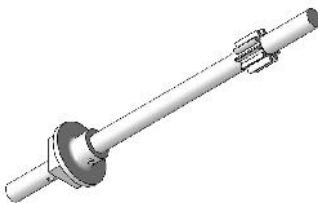
<b>RUEDA CONTADORA</b>	Rueda del último eje del tren de horas encargada de contabilizar el número de toques de campana que corresponde con cada hora.	 <p><i>Figura 88: Rueda contadora en SolidWorks</i></p>	$Z = 117$ $D_p = 175,5$ mm $e = 10$ mm  Disco: $e = 5$ mm  Unión: Rodamiento de $\varnothing_{ext} = 32$ mm	1
------------------------	--	--	--	---

Tabla 22: Ruedas que contiene el mecanismo del tren de horas.

## 9.2. EJES Y UNIONES

Los ejes y las uniones de este mecanismo se han diseñado de la misma manera que los anteriores trenes (se muestran en la Tabla 23).

Pieza	Definición	Figura	Dimensiones generales	Cantidad
<b>EJE 1</b>	Eje superior del tren de horas con un pivote para realizar la acción de <i>aviso</i> , el piñón y una ranura en el extremo que conlleva el <i>Venterol</i> .	 <p><i>Figura 89: Eje 1 en SolidWorks</i></p>	$\varnothing = 10$ mm $L = 240$ mm Piñón: $Z = 10$ $D_p = 15$ mm Pivote: $\varnothing = 4$ mm $L = 15$ mm	1
<b>EJE 2</b>	Segundo eje del tren de horas que contiene la <i>Rueda 2</i> del mecanismo.	 <p><i>Figura 90: Eje 2 en SolidWorks</i></p>	$\varnothing = 10$ mm $L = 210$ mm Piñón: $Z = 10$ $D_p = 15$ mm Unión: Poliedro cuadrado de 20x20x10 mm	1

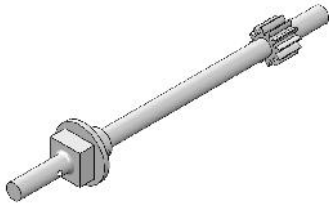
<b>EJE 3</b>	Tercer eje del tren de horas que contiene la <i>Rueda 3</i> del mecanismo.	 <i>Figura 91: Eje 3 en SologWorks</i>	$\varnothing = 10\text{ mm}$ $L = 210\text{ mm}$ Piñón: $Z = 12$ $D_p = 18\text{ mm}$ Unión: Poliedro cuadrado de 20x20x10 mm	1
--------------	--	---	---	---

Tabla 23: Ejes del tren de horas

Para bloquear el desplazamiento de los componentes de estos ejes, se han utilizado las arandelas mencionadas anteriormente (Figura 39).

## 10. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

La estructura de este prototipo se ha diseñado a partir de los soportes de los trenes de engranajes. La longitud de los soportes de cada mecanismo está determinada por los diámetros primitivos de los engranajes, en concreto por la distancia entre los ejes. A continuación, se muestra una tabla con las distancias entre ejes de los 3 mecanismos.

	MECANISMO DE MOVIMIENTO		MECANISMO DE CUARTOS		MECANISMO DE HORAS	
ENGRANAJES	Dp [mm]	Distancia entre ejes [mm]	Dp [mm]	Distancia entre ejes [mm]	Dp [mm]	Distancia entre ejes [mm]
Piñón eje 1	21	52,5	15	60	15	60
Rueda eje 2	84		105		105	
Piñón eje 2	40,5	101,25	17,5	96,25	15	67,5
Rueda eje 3	162		175		120	
Piñón eje 3	-	-	70	119	18	96,75
Rueda engrane imperial	-		168		175,5	
DISTANCIA TOTAL ENTRE EJES[mm]:		153,75	275,25		224,25	

Tabla 24: Distancias entre los ejes de los trenes de engranaje

### 10.1. SOPORTES

Cada uno de los soportes de los trenes estará formado por dos láminas de 5 mm. Esto se debe a los rodamientos que contienen los ejes en sus extremos.

Los ejes de diámetro de 10 mm dispondrán de un rodamiento en cada extremo de 10x19x5mm, y a los ejes de diámetro de 15 mm les corresponden rodamientos de 15x32x9 mm.

Los rodamientos irán encajados en los soportes de cada tren, pero como disponen de espesores diferentes se ha querido aprovechar y los soportes exteriores harán de tapa para los rodamientos que tengan un espesor de 5 mm. Por la cara interior tendrán tapas atornilladas que les impedirán desplazarse hacia el exterior.

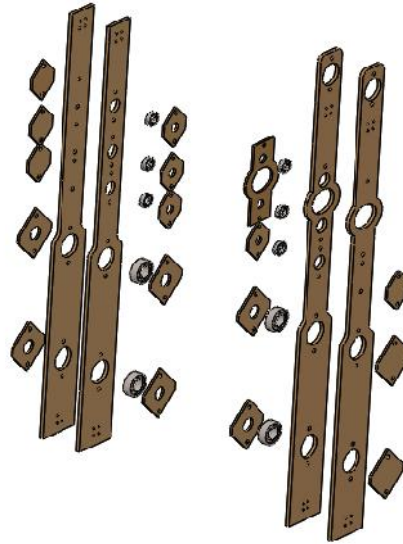


Figura 92: Soportes con rodamientos y tapas del prototipo del tren de movimiento en SolidWorks

Los soportes del tren de movimiento contienen en su parte inferior un agujero con rodamiento para la futura aplicación del eje para el sistema reductor, para poder elevar la pesa en caso de que su masa sea excesiva (en este caso no se ha aplicado porque no ha sido necesario).

## 10.2. BASE

A partir de las longitudes de los soportes se ha diseñado la base del prototipo de la estructura. Este se asemeja al reloj original de manera más simplificada y se puede ver en la Figura 93.

Los soportes horizontales y los laterales están diseñados de manera de que encajen entre ellos y así crear el marco superior y el inferior.

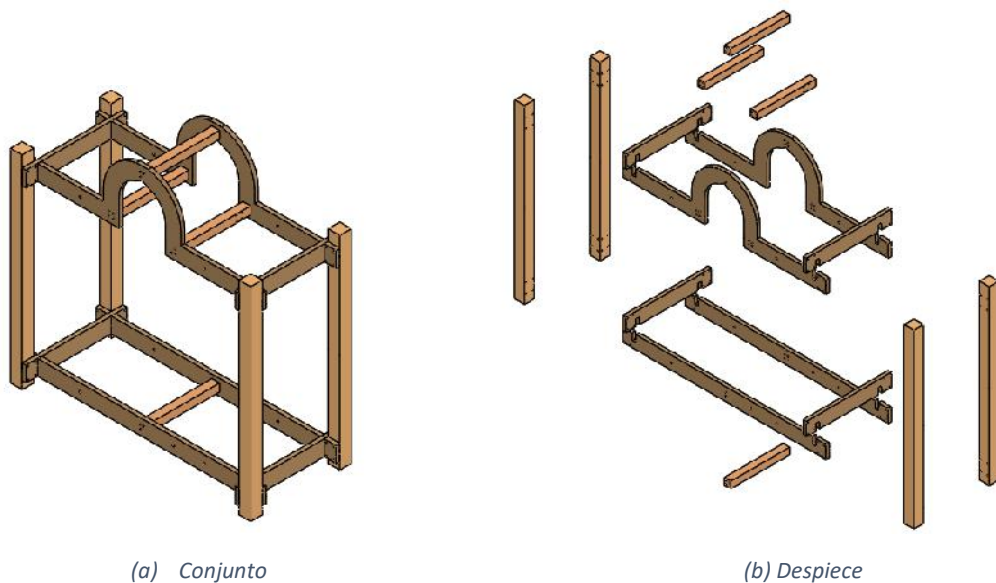


Figura 93: Base del prototipo de la estructura en SolidWorks

## 11. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

Una vez finalizado el modelado 3D virtual se procede a la fabricación del prototipo. A continuación, se muestra de qué manera se han fabricado los componentes y su respectivo material.

Todos los elementos de este prototipo se han fabricado con cortadora láser e impresora 3D (Tabla 25).

TIPO	MODELO	CARACTERÍSTICAS	MATERIAL
<b>Impresora 3D</b>	Dimensión SST 1200	Medidas: 254 x 254 x 305 mm Grosor de la capa: 0,254 mm o 0,330 mm de material de soporte y de modelado ABSplus depositado con precisión Formato de archivo: .DXF	ABS para la pieza y SST para el soporte
<b>Cortadora laser</b>	HSG LASER HS-Z4030	Medida tablón: 400 x 400 mm Parámetros de corte: -Tablones de 5mm: velocidad 8mm/s y potencia 95% - Tablones de 3mm: Velocidad 17mm/s y potencia 95% Formato de archivo: .STL	MDF

Tabla 25: Características y materiales de la tecnología utilizada en la fabricación

A pesar de que en un principio el objetivo era fabricar todas las piezas con impresora 3D, realizando pruebas se demostró que el tiempo de fabricación con este método era excesivo y había demasiados componentes como para llevar a cabo ese procedimiento.

Por ello, todos los elementos han sido diseñados en dos dimensiones y que tan solo se les ha añadido espesor para conseguir la pieza, han sido fabricados mediante una cortadora laser, ya que, el tiempo de fabricación de esta era notablemente menor.

La cortadora láser sólo trabajaba con tablones de espesores de 3 y 5 mm, por lo que para fabricar las piezas de espesores mayores se unían piezas iguales con cola blanca y con pequeños pasadores que ayudaban a mantener la rectitud entre las dos piezas. También, para hacer las ruedas contadoras que contenían pivotes, se utilizaron varillas de madera para realizar estos pequeños salientes.



*Figura 94: Algunos de los elementos fabricados por cortadora laser*

Las piezas fabricadas con la cortadora láser, cómo algunas que aparecen en la Figura 94, se habían realizado con precisión y no hubo problemas de ajustes con los agujeros. No obstante, las piezas realizadas con la impresora 3D no eran tan precisas y el acabado no era siempre el esperado. Algunas de estas piezas tuvieron que ser lijadas para el posible montaje, ya que las tolerancias aplicadas en el diseño no fueron suficientes.

Cabe destacar que con la cortadora láser se pudo hacer el grabado de la placa identificativa del prototipo del reloj que se ve en la Figura 95.



*Figura 95: Placa identificativa de la esfera del prototipo*

Hay que mencionar qué debido a las limitadas dimensiones de la cortadora láser que se poseía, fue necesario contactar con una empresa exterior para realizar los marcos de la base de la estructura (soportes horizontales y laterales) y los soportes de los trenes de engranaje. Por otro lado, las esquinas de la estructura se lograron mediante listones de abeto.

En el listado de elementos (ANEXO I: LISTADO DE ELEMENTOS) se muestra el material y fabricación de cada uno de los componentes. Además, debido a que no fueron necesarios planos para la fabricación, los planos del ANEXO II: ÍNDICE DE PLANOS son planos generales que muestran las piezas y sus ubicaciones en el conjunto, pero no las medidas (sólo se muestran medidas generales).

## 12. MONTAJE

El montaje de este prototipo es concreto y preciso, ya que montarlo de cualquier forma podría imposibilitar la introducción de piezas. Por ello, los pasos que se han seguido para realizar el montaje son los siguientes:

- Base estructura: Colocación de los soportes horizontales y laterales creando los marcos y unión con las esquinas (tornillos de madera M3x30mm).
- Tren de movimiento:
  - o Preparación de los soportes: unión de las dos tablas de cada soporte (con sus respectivos rodamientos introducidos y limitados por las tapas) mediante tornillos M5x30mm y sus respectivas tuercas y arandelas.
  - o Adición de uno de los soportes a la base de la estructura.
  - o Introducción de todo el tren de engranajes (ejes, ruedas, elementos de unión, pasadores, ...).
  - o Cierre del tren por el otro extremo uniéndolo a la estructura.
  - o Montaje del péndulo.
- Eje minuterio: Montaje similar al tren de movimiento (soporte trasero, eje con los componentes, el otro soporte con la esfera, aguja y arandela).
- Tren de cuartos: Mismo procedimiento que el tren de movimiento.
- Sonería de cuartos:
  - o Montaje de los tres ejes con sus elementos, arandelas y pasadores.
  - o Introducción de los acoplamientos en los extremos de los ejes.
  - o Inserción de los ejes con los acoplamientos en los laterales de la estructura base y unión a las esquinas mediante tornillos M5x40 mm (junto arandelas y tuercas necesarias).
- Tren de horas: Mismo procedimiento que el tren de movimiento.



### 13. PRESUPUESTO

En este capítulo vienen recogidos todos los gastos asociados a los materiales que han sido adquiridos. Principalmente son elementos de unión para el montaje y el coste de la fabricación de la base de la estructura y los soportes mediante cortadora laser.

PRESUPUESTO DE MATERIAL					
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	EMPRESA	COSTE UNITARIO [€]	CANTIDAD	COSTE TOTAL (con IVA) [€]
Corte y suministro materiales	Corte de material 3DM en espesor 5 y 10 mm según DXF	Precilaser	50	1	60,5
Material	3DM de espesores 5 y 10 mm	Precilaser	16	1	19,36
Liston cepillado abeto	27x27x2000mm (x6)	Leroy Merlin	15,99	1	15,99
Rodamiento de bolas di10	10x19x5mm (x10)	Amazon	10,73	1	10,73
Rodamiento de bolas di15	15x32x9mm (x10)	Amazon	14,59	1	14,59
Rodamiento de bolas di10	10x19x5mm (x20)	Amazon	11,99	1	11,99
Rodamiento de bolas di15	15x32x9mm (x10)	Amazon	15,19	1	15,19
Tornillos universales galvanizados	3,0 x 30mm (x100)	Hiper Z-ONE (ONNEX)	2,35	2	4,7
Tornillos hexagonales galvanizados	M5 x 30 mm (x30)	Hiper Z-ONE (ONNEX)	2,95	2	5,9
Tornillos hexagonales galvanizados	M5 x 40 mm (x30)	Hiper Z-ONE (ONNEX)	2,95	1	2,95
Arandela cincada	5,3 x 10mm (x100)	Hiper Z-ONE (ONNEX)	1,4	1	1,4
<b>TOTAL [€]:</b>					<b>163,3</b>

Tabla 26: Presupuesto del material adquirido

El gasto habría sido considerablemente mayor si no se hubiera obtenido la labor de los técnicos de la Universidad y el aporte de material y herramientas de esta.

## 14. CONCLUSIONES

Después de realizar el montaje de todo el tren de movimiento y el péndulo, se ha analizado el funcionamiento de este.

Como ya se ha dicho anteriormente, el tren de movimiento podía funcionar con un peso mínimo de 700 gramos. Tras realizar varias pruebas con este, se pudo ver que el tren de engranajes funcionaba correctamente con la combinación alternada de piezas de ABS (plástico) y MDF (madera) debido al acabado que tenían estas piezas.

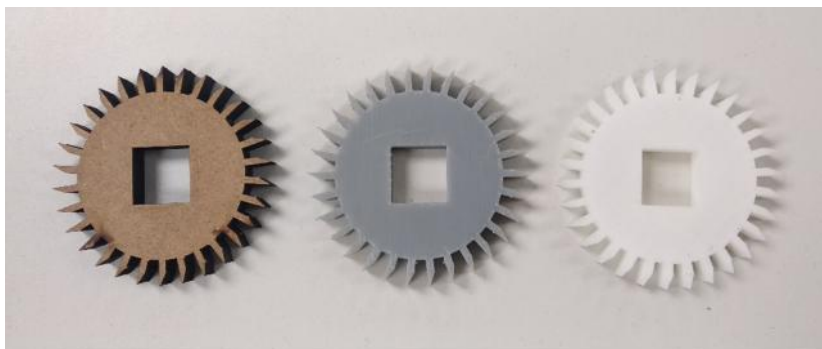
A la hora de probar el péndulo, cuya pesa era una lenteja improvisada, se pudo ver que, a pesar de introducir el mecanismo del fleje, tras unas pocas oscilaciones del péndulo se acaba parando. Esto se debe a toda la fuerza de rozamiento que pueda haber entre los diferentes elementos de este tren.

Uno de ellos es la fuerza de rozamiento que aparece entre los engranajes y los piñones, ya que el acabado superficial de estos no es suficientemente liso y no se puede comparar con el delicado contacto que tienen los engranajes metálicos del reloj original.

El problema surgía con el mecanismo del áncora con la rueda de escape y el péndulo. El colocar correctamente las paletas del áncora es un proceso muy preciso con poco margen de error. Y cualquier posición que no sea la ideal, conlleva a funcionamientos muy diferentes del mecanismo. Se han colocado estas paletas de la manera más correcta posible, pero se desconoce si esta posición es la más acertada.

Además de la posición concreta de las paletas del áncora, se creyó que el roce entre estas y los dientes de la rueda de escape también podría afectar gravemente al sistema. Por ello, se fabricaron tres piezas de la rueda de escape con materiales diferentes (Figura 96).

Al ponerlas a prueba se pudo ver que no había una diferencia notoria en las oscilaciones del péndulo, por lo tanto, se optó por la pieza de MDF debido a su acabado liso. Las otras dos piezas fabricadas con diferentes impresoras 3D, contenían varias irregularidades en la superficie: la de ABS de las puntas de los dientes, debido a su fabricación, y la de ONYX en las zonas donde la impresora había depositado el soporte.



*Figura 96: Rueda de escape en diferentes materiales: MDF, ONYX Y ABS (de izq. a dcha.)*

Por otro lado, se comprobó que los rodamientos que se obtuvieron no deslizaban lo suficiente debido a la alta densidad de la grasa que tenían en su interior, ya que no eran unos rodamientos específicos para esto. Por ello, se decidió hacer una prueba abriendo los rodamientos y eliminando esta grasa con alcohol. Posteriormente se aplicó un lubricante de silicona (WD-40), que logró que las bolas del interior del rodamiento se deslizarán fácilmente con un pequeño impulso. Esto tampoco trajo mejoras notorias y, además, a lo largo del tiempo esta lubricación se perdía.

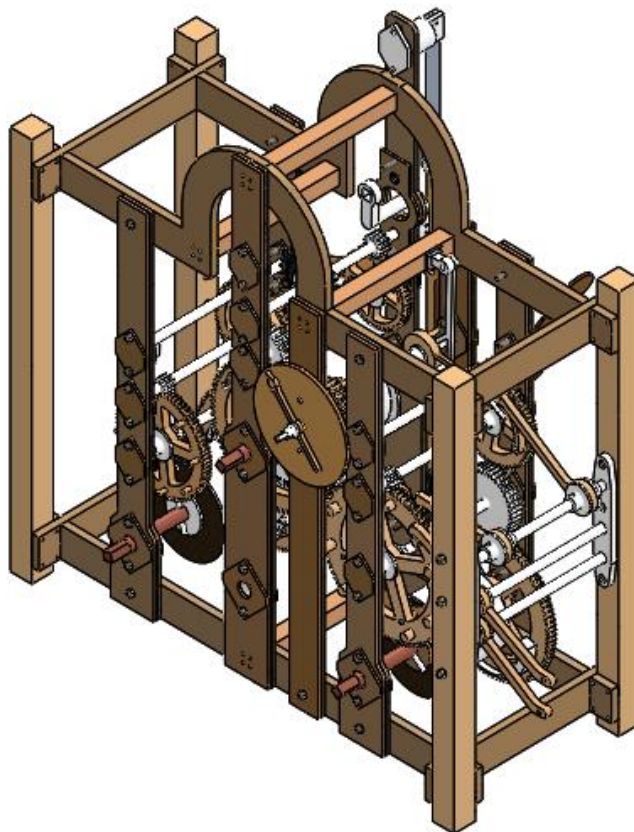
No se ha llegado a comprobar el funcionamiento de los otros dos trenes del mecanismo ya que para mover estos se necesitan pesas de masa considerablemente mayor, y por lo tanto se desconoce el funcionamiento global del prototipo (se pretenden hacer mejoras futuras).

Después de observar todos los cambios que se han debido realizar en el tren de movimiento para poder moverlo sin tener que aplicar un peso demasiado elevado que pudiera dañar el mecanismo, se puede concluir, que este material no es adecuado para la fabricación de una maqueta de un reloj de este calibre.

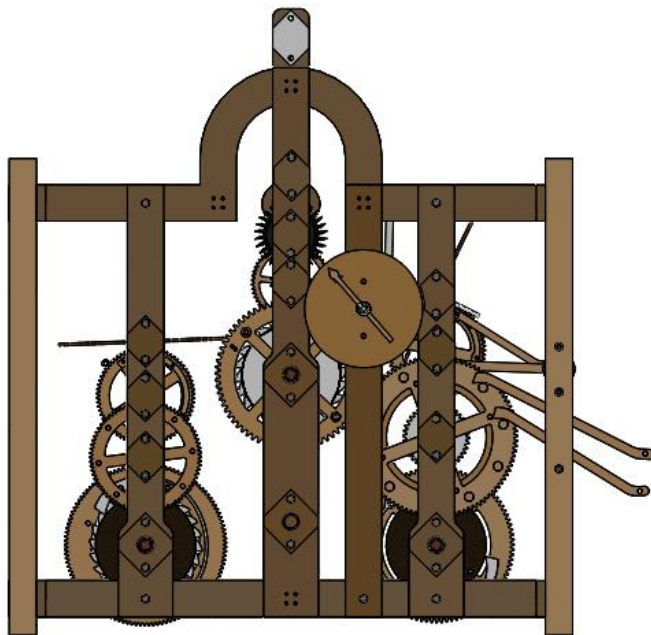
## 15. FOTOGRAFÍAS DEL ESTUDIO

A continuación, se han incluido fotografías del prototipo final completo, tanto del diseño virtual como del prototipo físico funcional.

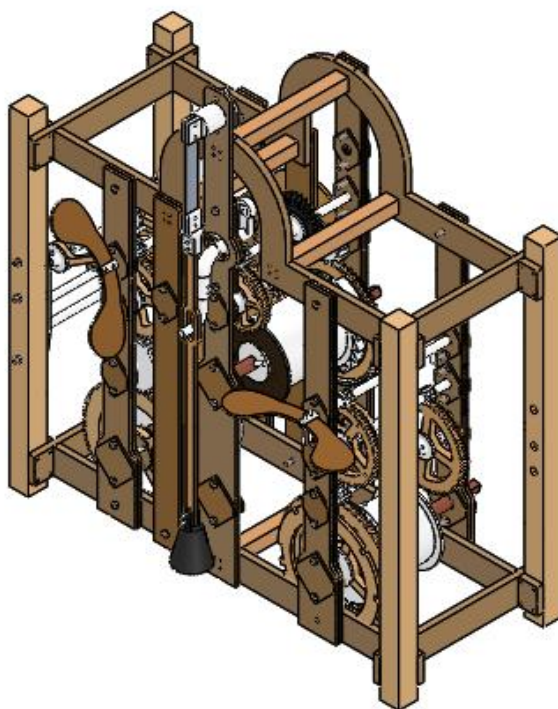
### 15.1. PROTOTIPO VIRTUAL



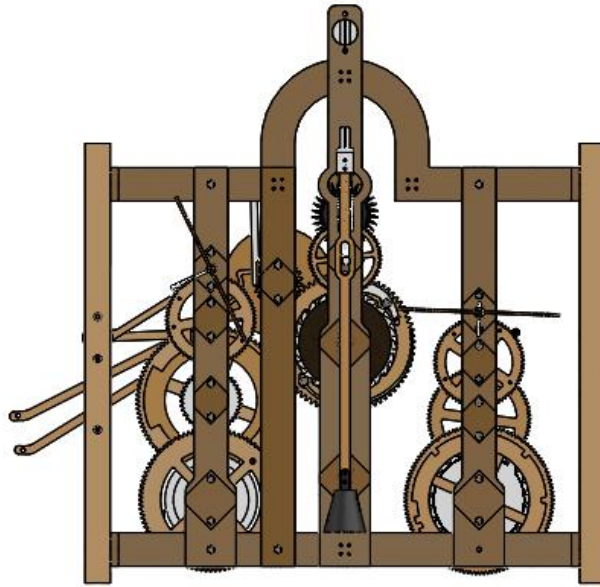
*Figura 97: Vista isométrica del prototipo virtual*



*Figura 98: Vista en alzado del prototipo virtual*

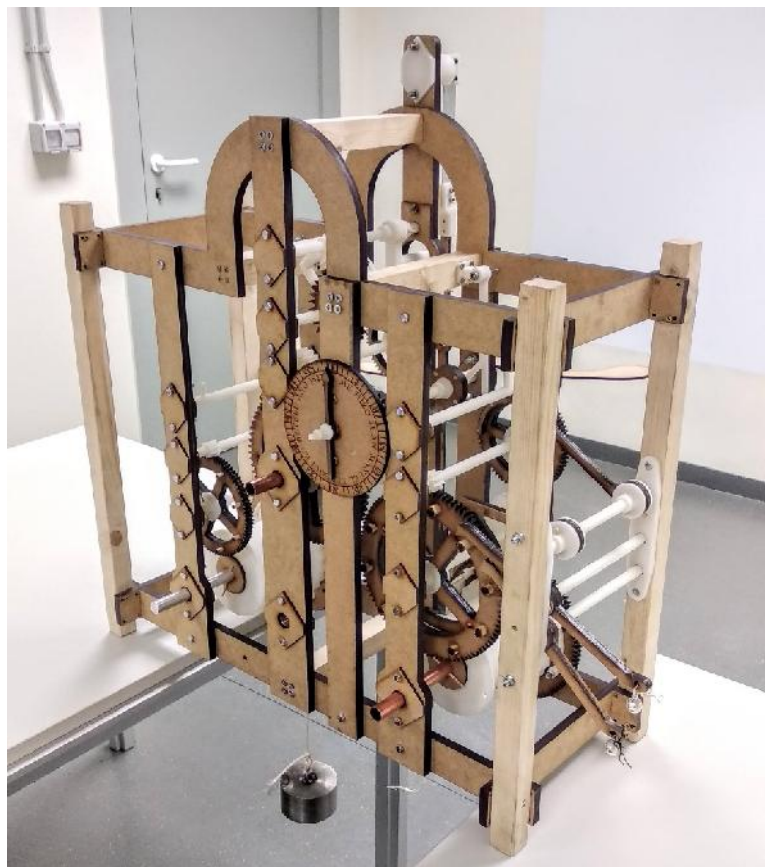


*Figura 99: Vista isométrica rasera del prototipo virtual*



*Figura 100: Vista trasera del prototipo virtual*

## 15.2. PROTOTIPO FUNCIONAL

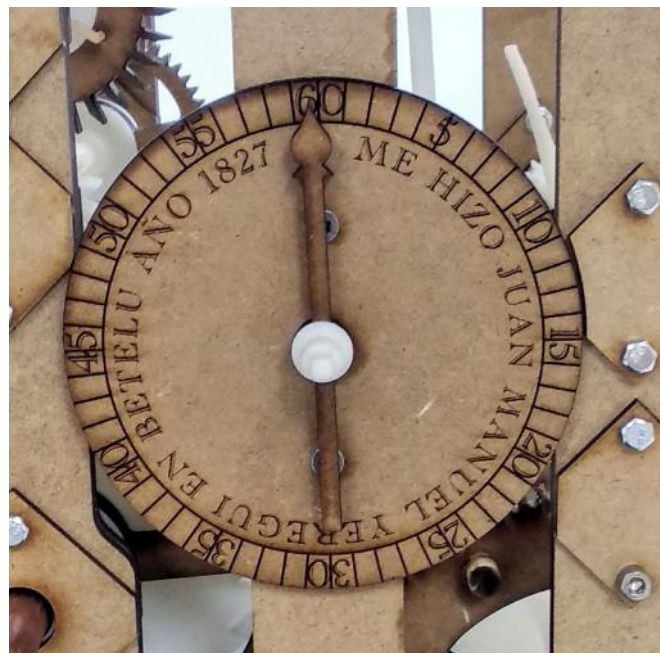


*Figura 101: Vista isométrica del prototipo funcional*



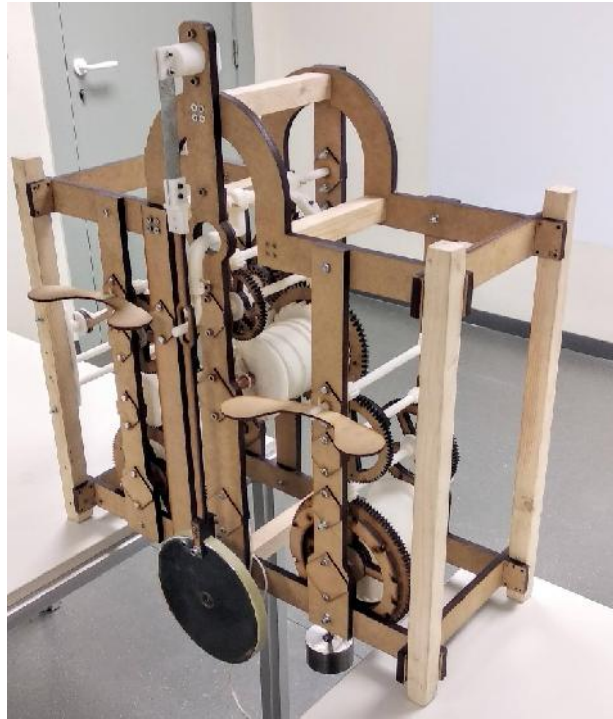


*Figura 102: Vista frontal del prototipo funcional*

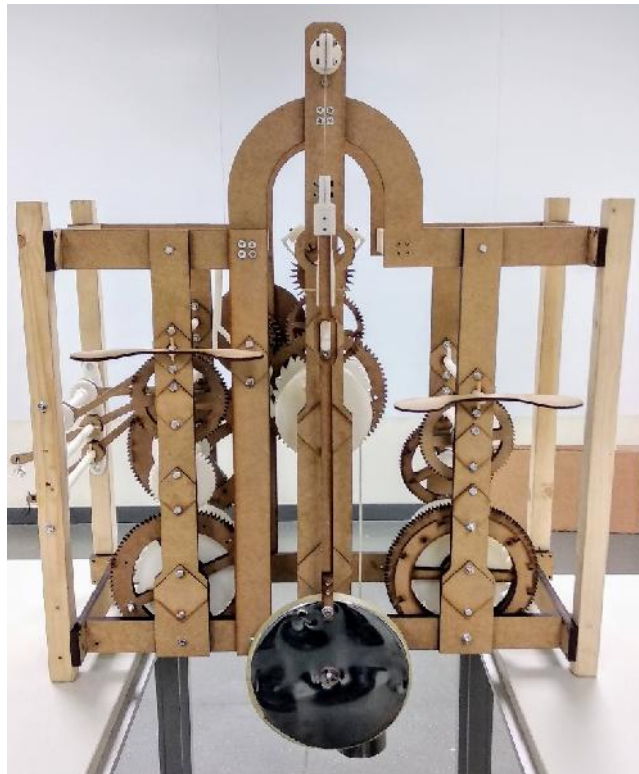


*Figura 103: Placa identificativa del prototipo funcional*





*Figura 104: Vista isométrica trasera del prototipo funcional*



*Figura 105: Vista trasera del prototipo funcional*

## 16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Adrián Claver Alba, *“Restauración y puesta en marcha del antiguo reloj del ayuntamiento de Iruñea”*, Trabajo Fin de Grado en 2019, UPNA.
- [2] J.M. Merino y R. Merino, *“La medida del tiempo I: relojes clásicos”*, *Revista de Ciencias*, no.4, pp.11-21, abril 2014.
- [3] J. Ortega Maya, *“Relojes de sol: un estudio analítico con ejemplos de la ciudad de Úbeda (Jaén)”*, *SUMA*, no.40, pp.75-85, junio 2002.
- [4] V. Pérez Álvarez, V. *“The role of the mechanical clock in medieval science”*, *Endavour*, v.39, no.1, pp.63-68, 2015.
- [5] M. Stoimenov, B. Popkonstantinović, L. Miladinović y D. Petrović, *“Evolution of Clock Escapement Mechanisms”*, *FME Transactions*, v.40, no.1, pp.17-23, 2012.
- [6] Ernst Gerland, Friedrich Traumüller (1899) *Geschichte der Physikalischen Experimentierkunst*, Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, Germany, p.179, fig.178
- [7] John H. Lienhard. «No. 235: HARRISON’S TIMEPIECE». *Engines of our ingenuity*.
- [8] A-A. Mills, S. Day and S. Parkes, *“Mechanics of the sandglass”*, *European Journal of Physics*, v.17. no.3, 1996.
- [9] O. Irureta Azkune, *“Erlojuak”*, *Elhuyar aldizkaria*, pp.54-55, 1996.
- [10] Ondare, *“El reloj del Ayuntamiento de Iruñea”*, *Ondaregia*, 17 de junio de 2016.
- [11] J. Garmendia Larrañaga, *“Artesanos relojeros”*, *Cuadernos de Etnología y Etnografía de Navarra*, no.192, pp.45-56, 1970.
- [12] Yeregui Elkartea.
- [13] J. Garmendia Larrañaga, *“Euskal esku-langintza”*, *Eusko ikaskuntza*, Donostia, 1970.
- [14] H. Jendritzki, *“La reparación de las péndolas antiguas”*, *SCRIPTAR SA*, 1985.

## ANEXO I: LISTADO DE ELEMENTOS

ESTRUCTURA Y SOPORTES				
Nº PIEZA	PIEZA	CANTIDAD	MATERIAL	FABRICACIÓN
EST	ARCO	2	MDF	Corte por laser
EST	SOPORTE HORIZONTAL	2	MDF	Corte por laser
EST	SOPORTE LATERAL	4	MDF	Corte por laser
EST	ESQUINA VERTICAL	4	Abeto	Comercial
EST	BARRA VERTICAL	4	Abeto	Comercial
EST	Tornillos madera M3-30 mm	32	Acero galvanizado	Comercial
EST	Tornillos madera M3,5-40 mm	32	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	SOPORTE EJES EXTERIOR	1	MDF	Corte por laser
MEC1	SOPORTE EJES INTERIOR	1	MDF	Corte por laser
MEC1	SOPORTE EJES 2 EXTERIOR	1	MDF	Corte por laser
MEC1	SOPORTE EJES 2 INTERIOR	1	MDF	Corte por laser
MEC1	TAPA D10 INTERIOR	1	MDF	Corte por laser
MEC1	TAPA D10 INTERIOR CORTE	3	MDF	Corte por laser
MEC1	TAPA D10 EXTERIOR	1	MDF	Corte por laser
MEC1	TAPA D10 EXTERIOR CORTE	3	MDF	Corte por laser
MEC1	TAPA D10 AGUJERO	1	MDF	Corte por laser
MEC1	TAPA D15	2	MDF	Corte por laser
MEC1	TAPA D15 AGUJERO	6	MDF	Corte por laser
MEC1	Tornillo cabeza hexagonal M5-30mm	18	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	Tuerca M5	18	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	Arandela M5	18	Acero galvanizado	Comercial
MIN	SOPORTE INTERIOR	1	MDF	Corte por laser
MIN	SOPORTE EXTERIOR	1	MDF	Corte por laser
MIN	SOPORTE INTERIOR 2	1	MDF	Corte por laser
MIN	SOPORTE EXTERIOR 2	1	MDF	Corte por laser
MIN	TAPA D10 INTERIOR	1	MDF	Corte por laser
MIN	TAPA D10 EXTERIOR	1	MDF	Corte por laser
MIN	Tornillo cabeza cónica M5-25mm	2	Acero galvanizado	Comercial
MIN	Tornillo cabeza hexagonal M5-30mm	4	Acero galvanizado	Comercial
MIN	Tuerca M5	6	Acero galvanizado	Comercial
MIN	Arandela M5	12	Acero galvanizado	Comercial
MEC2	SOPORTE INTERIOR	2	MDF	Corte por laser
MEC2	SOPORTE EXTERIOR	2	MDF	Corte por laser

MEC2	TAPA D10 INTERIOR	7	MDF	Corte por laser
MEC2	TAPA D10 EXTERIOR	4	MDF	Corte por laser
MEC2	TAPA D10 EXTERIOR CORTE	1	MDF	Corte por laser
MEC2	TAPA D15 AGUJERO	3	MDF	Corte por laser
MEC2	TAPA D15	1	MDF	Corte por laser
MEC2	Tornillo cabeza hexagonal M5-30mm	20	Acero galvanizado	Comercial
MEC2	Tuerca M5	20	Acero galvanizado	Comercial
MEC2	Arandela M5	40	Acero galvanizado	Comercial
MEC3	SOPORTE INTERIOR	2	MDF	Corte por laser
MEC3	SOPORTE EXTERIOR	2	MDF	Corte por laser
MEC3	TAPA D10 INTERIOR	7	MDF	Corte por laser
MEC3	TAPA D10 EXTERIOR	5	MDF	Corte por laser
MEC3	TAPA D15 AGUJERO	3	MDF	Corte por laser
MEC3	TAPA D15	1	MDF	Corte por laser
MEC3	Tornillo cabeza hexagonal M5-30mm	20	Acero galvanizado	Comercial
MEC3	Tuerca M5	20	Acero galvanizado	Comercial
MEC3	Arandela M5	40	Acero galvanizado	Comercial

TREN DE MOVIMIENTO				
Nº PIEZA	PIEZA	CANTIDAD	MATERIAL	FABRICACIÓN
MEC1	EJE SISTEMA REDUCTOR	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	Rodamiento di15	2	Acero	Comercial
MEC1	EJE 3	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	Rodamiento di15	3	Acero	Comercial
MEC1	RUEDA DE ENGRANE Z72 M2.25	1	MDF	Corte por laser
MEC1	RUEDA TRINQUETE	1	MDF	Impresora 3D
MEC1	TAMBOR	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	FLEJE UÑA	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	UÑA	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	PASADOR UÑA	1	Madera de tilo	Comercial
MEC1	ARANDELA IMPERIAL	3	MDF	Corte por laser
MEC1	PASADOR IMPERIAL	2	Madera de tilo	Comercial
MEC1	Tornillo cabeza hexagonal M5-35mm	2	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	Tuerca M5	2	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	Arandela tornillo M5	4	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	EJE 2 + PIÑON Z18 M2.25	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	Rodamiento di10	2	Acero	Comercial
MEC1	RUEDA 2 Z56 M1.5	1	MDF	Corte por laser
MEC1	ARANDELA	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	PASADOR	1	Madera de tilo	Comercial
MEC1	EJE 1 + PIÑON Z14 M1.5	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	Rodamiento di10	2	Acero	Comercial
MEC1	RUEDA ESCAPE	1	MDF	Corte por laser
MEC1	ARANDELA	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	PASADOR	1	Madera de tilo	Comercial
MEC1	EJE ÁNCORA	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	Rodamiento di10	2	Acero	Comercial
MEC1	ÁNCORA CENTRAL	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	ÁNCORA IZQ.	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	ÁNCORA DCH.	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	Tornillo cabeza hexagonal M3-20mm	2	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	Tuerca M3	2	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	Arandela tornillo M3	2	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	AGARRE TENEDOR	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	ARANDELA ÁNCORA	2	ABS	Impresora 3D
MEC1	PASADOR	2	Madera de tilo	Comercial
MEC1	TENEDOR	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	PASADOR	2	Madera de tilo	Comercial
MEC1	SOPORTE FLEJE	1	ABS	Impresora 3D

MEC1	FLEJE	1	Aluminio	Comercial
MEC1	AGARRE PÉNDULO	1	ABS	Impresora 3D
MEC1	Tornillo cabeza hexagonal M3-20mm	6	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	Tuerca M3	6	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	Arandela tornillo M3	6	Acero galvanizado	Comercial
MEC1	PASADOR	2	Madera de tilo	Comercial
MEC1	PÉNDULO	1	MDF	Corte por laser

MINUTERA				
Nº PIEZA	PIEZA	CANTIDAD	MATERIAL	FABRICACIÓN
MIN	EJE MINUTERA	1	ABS	Impresora 3D
MIN	Rodamiento di10	4	Acero	Comercial
MIN	ESFERA	1	MDF	Corte por laser
MIN	AGUJA	3	MDF	Corte por laser
MIN	ARANDELA AGUJA	1	ABS	Impresora 3D
MIN	ARANDELA	4	ABS	Impresora 3D
MIN	RUEDA MINUTERA	1	MDF	Corte por laser
MIN	EMBRAGUE	1	MDF	Corte por laser
MIN	CILINDRO TOPE	1	ABS	Impresora 3D
MIN	PASADOR	3	ABS	Impresora 3D
MIN	ARANDELA 3mm	1	MDF	Corte por laser
MIN	ACTUADOR Y	1	ABS	Impresora 3D
MIN	SOPORTE ACTUADOR Y	1	ABS	Impresora 3D



TREN DE CUARTOS				
Nº PIEZA	PIEZA	CANTIDAD	MATERIAL	FABRICACIÓN
MEC2	EJE 4	1	ABS	Impresora 3D
MEC2	Rodamiento di15	3	Acero	Comercial
MEC2	RUEDA DE ENGRANE Z96 M1.75	1	MDF	Corte por laser
MEC2	RUEDA TRINQUETE	1	MDF	Corte por laser
MEC2	TAMBOR	1	ABS	Impresora 3D
MEC2	FLEJE UÑA	1	ABS	Impresora 3D
MEC2	UÑA	1	ABS	Impresora 3D
MEC2	PASADOR UÑA	1	Madera de tilo	Comercial
MEC2	ARANDELA IMPERIAL	3	MDF	Corte por laser
MEC2	PASADOR IMPERIAL	2	Madera de tilo	Comercial
MEC2	Tornillo cabeza hexagonal M5-35mm	2	Acero galvanizado	Comercial
MEC2	Tuerca M5	2	Acero galvanizado	Comercial
MEC2	Arandela tornillo M5	2	Acero galvanizado	Comercial
MEC2	EJE 3 + PIÑON Z40 M1.75	1	ABS	Impresora 3D
MEC2	Rodamiento di10	2	Acero	Comercial
MEC2	RUEDA 3 Z100 M1.75	1	MDF	Corte por laser
MEC2	CARACOLA	1	MDF	Corte por laser
MEC2	ARANDELA	1	ABS	Impresora 3D
MEC2	PASADOR	1	Madera de tilo	Comercial
MEC2	EJE 2 + PIÑON Z10 M1.75	1	ABS	Impresora 3D
MEC2	Rodamiento di10	2	Acero	Comercial
MEC2	RUEDA 2 Z70 M1.5	1	MDF	Corte por laser
MEC2	FLEJE RUEDA 2	1	MDF	Corte por laser
MEC2	ARANDELA	1	ABS	Impresora 3D
MEC2	PASADOR	1	Madera de tilo	Comercial
MEC2	EJE 1 + PIÑON Z10 M1.5	1	ABS	Impresora 3D
MEC2	Rodamiento di10	2	Acero	Comercial
MEC2	VENTEROL	1	MDF	Corte por laser
MEC2	PASADOR	2	MDF	Corte por laser
MEC2	EJE ACTUADOR BLOQUEO	1	ABS	Impresora 3D
MEC2	Rodamiento di10	2	Acero	Comercial
MEC2	ACOPLAMIENTO EJES SONERÍA	2	ABS	Impresora 3D
MEC2	Tornillo M5-40mm	6	Acero galvanizado	Comercial
MEC2	Tuerca M5	6	Acero galvanizado	Comercial
MEC2	Arandela tornillo M5	6	Acero galvanizado	Comercial
MEC2	ACTUADOR BLOQUEO 1	1	MDF	Corte por laser
MEC2	ACTUADOR BLOQUEO 2	1	MDF	Corte por laser
MEC2	ACTUADOR BLOQUEO 3	1	MDF	Corte por laser

MEC2	ACTUADOR CARACOLA	1	MDF	Corte por laser
MEC2	ARANDELA	2	ABS	Impresora 3D
MEC2	PASADOR	2	Madera de tilo	Comercial
MEC2	EJE SONERIA	2	ABS	Impresora 3D
MEC2	Rodamiento di10	4	Acero	Comercial
MEC2	SONERIA CUARTOS 1	1	MDF	Corte por laser
MEC2	SONERIA CUARTOS 2	1	MDF	Corte por laser
MEC2	ARANDELA SONERIA	4	MDF	Corte por laser
MEC2	PASADOR	4	Madera de tilo	Comercial

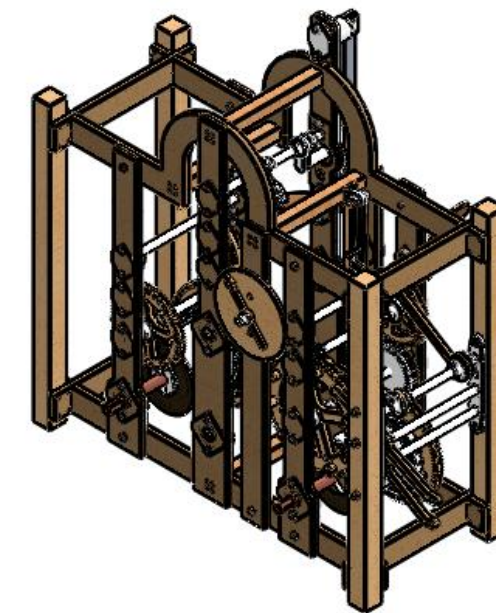
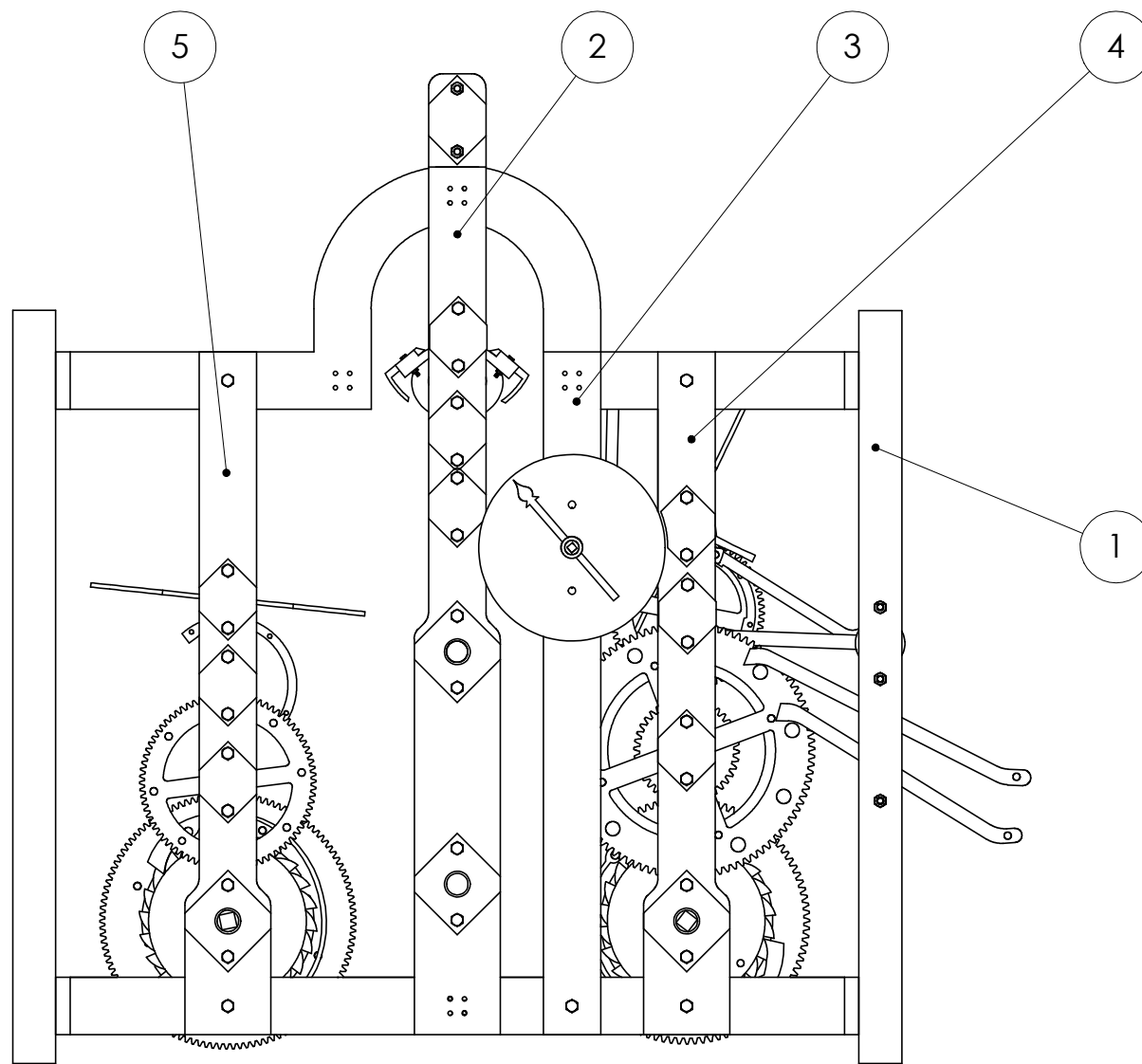
<b>TREN DE HORAS</b>				
<b>Nº PIEZA</b>	<b>PIEZA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>FABRICACIÓN</b>
MEC3	EJE 4	1	ABS	Impresora 3D
MEC3	Rodamiento di15	3	Acero	Comercial
MEC3	RUEDA DE ENGRANE Z117 M1.5	1	MDF	Corte por laser
MEC3	CARACOLA	1	MDF	Corte por laser
MEC3	RUEDA TRINQUETE	1	MDF	Corte por laser
MEC3	TAMBOR	1	ABS	Impresora 3D
MEC3	FLEJE UÑA	1	ABS	Impresora 3D
MEC3	UÑA	1	ABS	Impresora 3D
MEC3	PASADOR UÑA	1	Madera de tilo	Comercial
MEC3	ARANDELA IMPERIAL	3	MDF	Corte por laser
MEC3	PASADOR IMPERIAL	2	Madera de tilo	Comercial
MEC3	Tornillo cabeza hexagonal M5-35mm	2	Acero galvanizado	Comercial
MEC3	Tuerca M5	2	Acero galvanizado	Comercial
MEC3	Arandela tornillo M5	4	Acero galvanizado	Comercial
MEC3	EJE 3 + PIÑÓN Z12 M1.5	1	ABS	Impresora 3D
MEC3	Rodamiento di10	2	Acero	Comercial
MEC3	RUEDA 3 Z80 M1.5	1	MDF	Corte por laser
MEC3	ARANDELA	1	ABS	Impresora 3D
MEC3	PASADOR	1	Madera de tilo	Comercial
MEC3	EJE 2 + PIÑÓN Z10 M1.5	1	ABS	Impresora 3D
MEC3	Rodamiento di10	2	Acero	Comercial
MEC3	RUEDA 2 Z70 M1.5	1	MDF	Corte por laser
MEC3	FLEJE RUEDA 2	1	MDF	Corte por laser
MEC3	ARANDELA	1	ABS	Impresora 3D
MEC3	PASADOR	1	Madera de tilo	Comercial
MEC3	EJE 1 + PIÑÓN Z10 M1.5	1	ABS	Impresora 3D
MEC3	Rodamiento di10	2	Acero	Comercial
MEC3	VENTEROL	1	MDF	Corte por laser
MEC3	PASADOR	2	MDF	Corte por laser
MEC3	EJE ACTUADOR BLOQUEO	1	ABS	Impresora 3D
MEC3	ACTUADOR BLOQUEO 1	1	MDF	Corte por laser
MEC3	ACTUADOR BLOQUEO 2	1	MDF	Corte por laser
MEC3	ACTUADOR BLOQUEO 3	1	MDF	Corte por laser
MEC3	ACTUADOR CARACOLA	1	MDF	Corte por laser
MEC3	ARANDELA	2	ABS	Impresora 3D
MEC3	PASADOR	2	Madera de tilo	Comercial
MEC3	EJE SONERIA	2	ABS	Impresora 3D
MEC3	SONERIA CUARTOS 1	1	MDF	Corte por laser

MEC3	SONERIA CUARTOS 2	1	MDF	Corte por laser
MEC3	ARANDELA SONERIA	4	MDF	Corte por laser
MEC3	PASADOR	4	Madera de tilo	Comercial

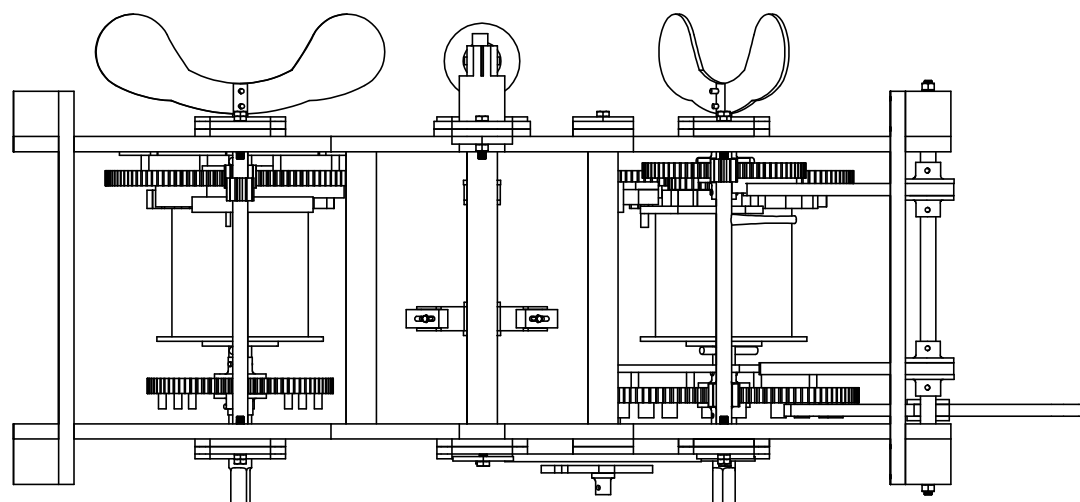
## ANEXO II: ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 01: CONJUNTO RELOJ (E 1:5)
- PLANO 02: CONJUNTO ESTRUCTURA BASE (E 1:5)
- PLANO 03: CONJUNTO TREN DE MOVIMIENTO (E 1:3)
- PLANO 04: MEC1 SOPORTES (E 1:5)
- PLANO 05: CONJUNTO MEC1 EJE ÁNCORA (E 1:3)
- PLANO 06: CONJUNTO MEC1 EJE 1 (E 1:2)
- PLANO 07: CONJUNTO MEC1 EJE 2 (E 1:2)
- PLANO 08: CONJUNTO RUEDA IMPERIAL (E 1:3)
- PLANO 09: CONJUNTO MEC1 PÉNDULO (E 1:4)
- PLANO 10: CONJUNTO EJE MINUTERO (E 1:3)
- PLANO 11: MIN SOPORTES (E 1:4)
- PLANO 12: CONJUNTO TREN DE CUARTOS (E 1:3)
- PLANO 13: MEC2 SOPORTES (E 1:5)
- PLANO 14: CONJUNTO MEC2 EJE 1 (E 1:3)
- PLANO 15: CONJUNTO MEC2 EJE 2 (E 1:3)
- PLANO 16: CONJUNTO MEC2 EJE 3 (E 1:3)
- PLANO 17: CONJUNTO MEC2 SONERÍA CUARTOS P1(E 1:3)
- PLANO 18: CONJUNTO TREN DE HORAS (E 1:3)
- PLANO 19: MEC3 SOPORTES (E 1:5)
- PLANO 20: CONJUNTO MEC3 EJE 1 (E 1:3)
- PLANO 21: CONJUNTO MEC3 EJE 2 (E 1:3)
- PLANO 22: CONJUNTO MEC3 EJE 3 (E 1:3)



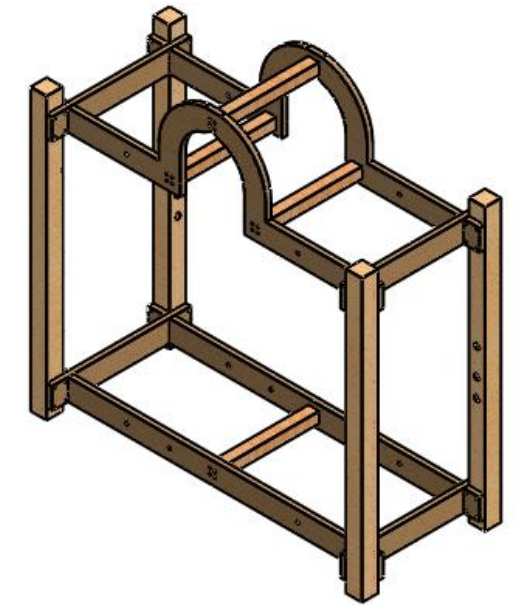
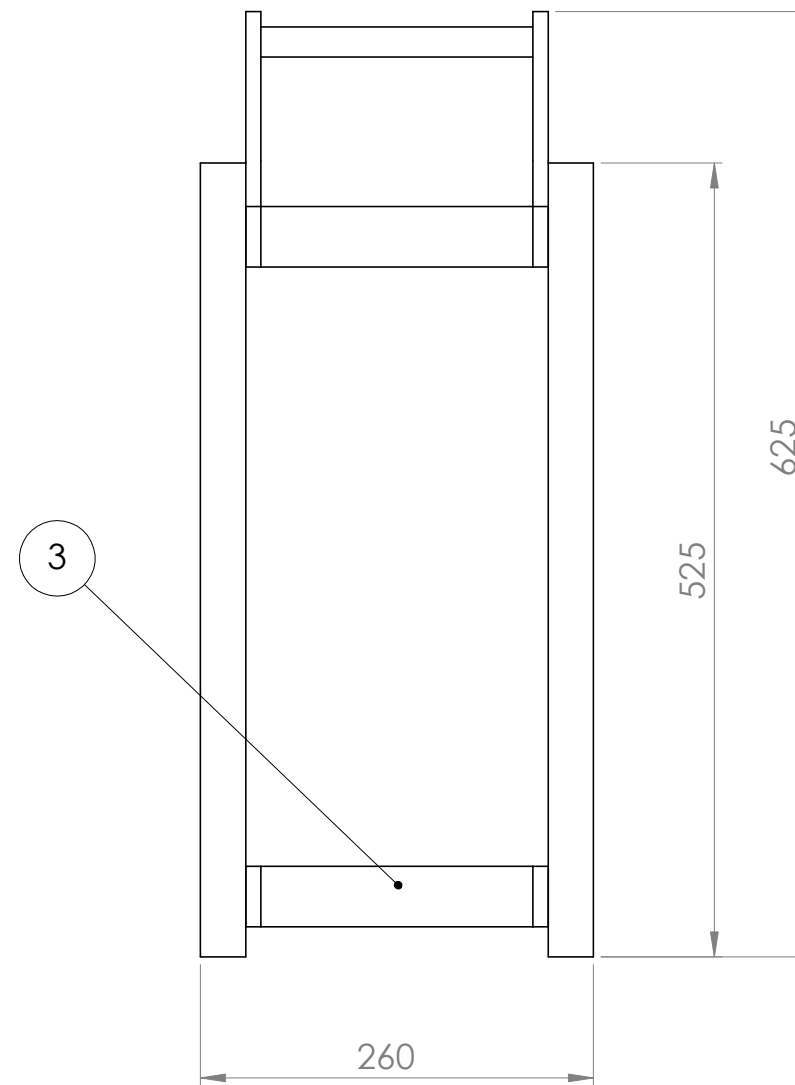
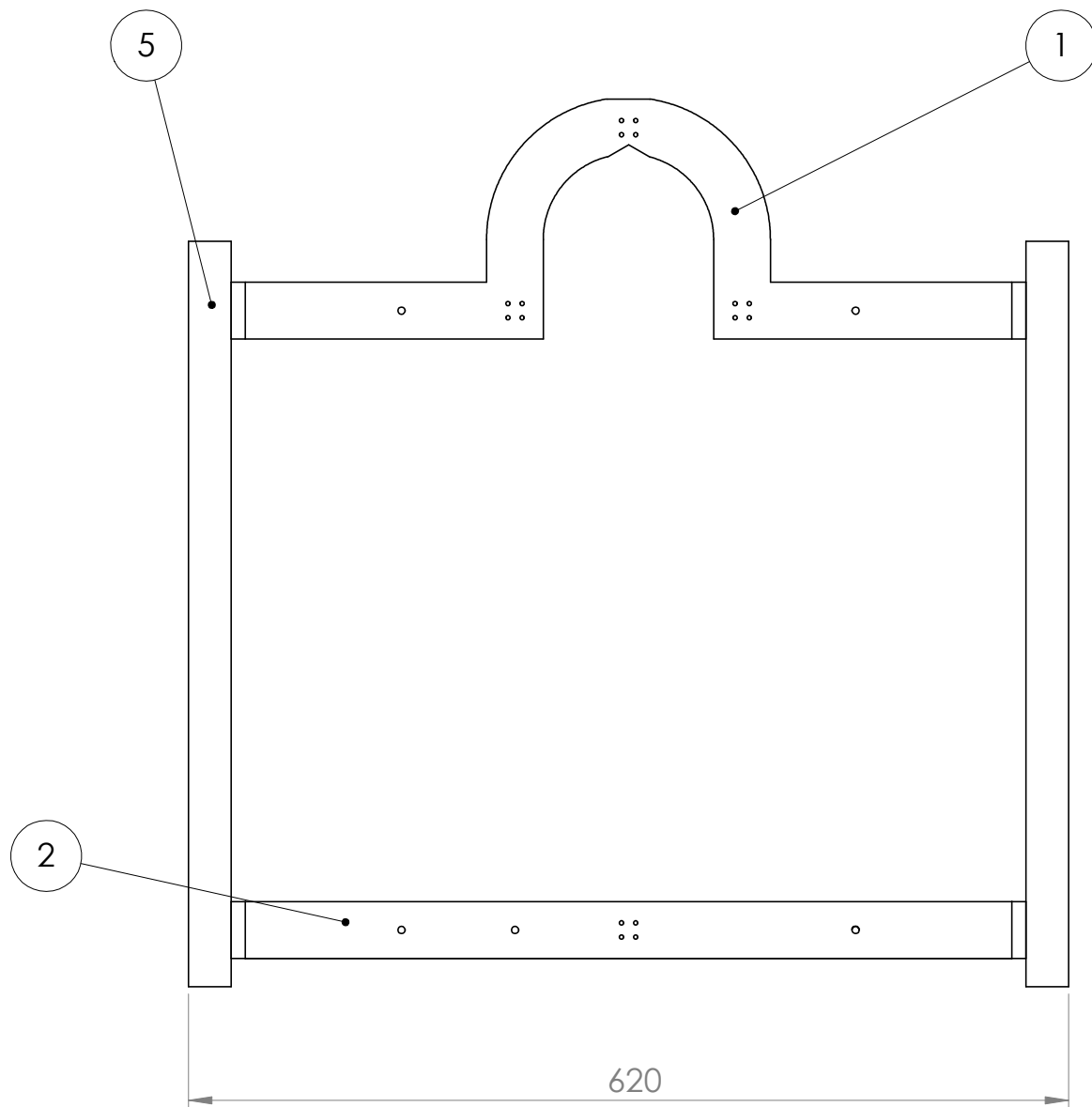


ESCALA 1:10

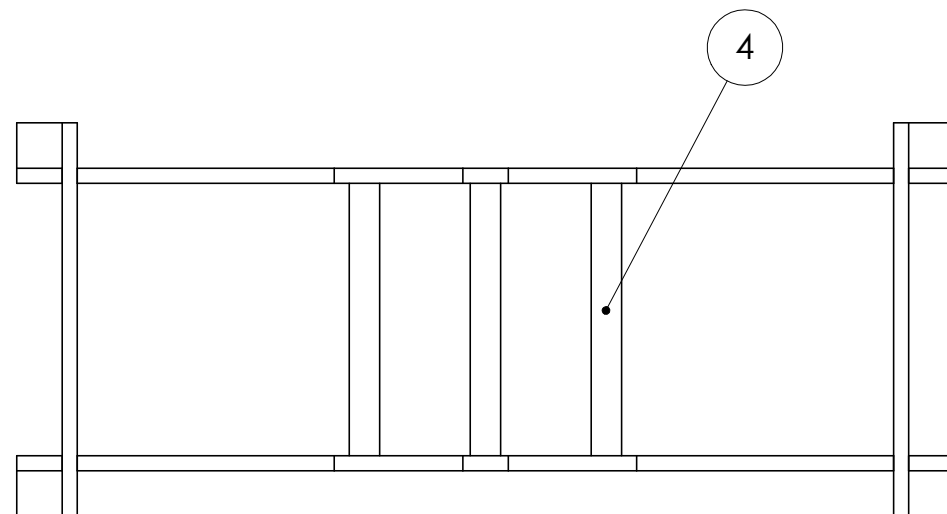


Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Nº PLANO	
1	ESTRUCTURA BASE	1	02	
2	CONJUNTO TREN DE MOVIMIENTO	1	03	
3	CONJUNTO EJE MINUTERO	1	10	
4	CONJUNTO TREN DE CUARTOS	1	12	
5	CONJUNTO TREN DE HORAS	1	18	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO RELOJ				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A3	ESCALA 1:5	Nº PLANO 01
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 19/10/2020		

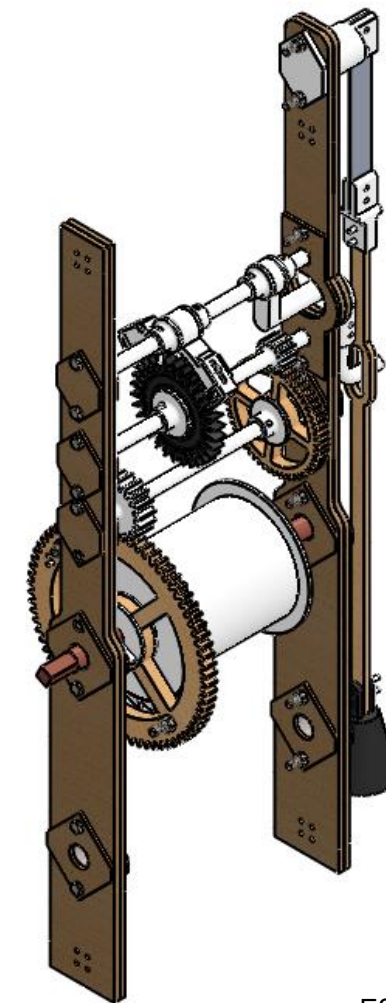
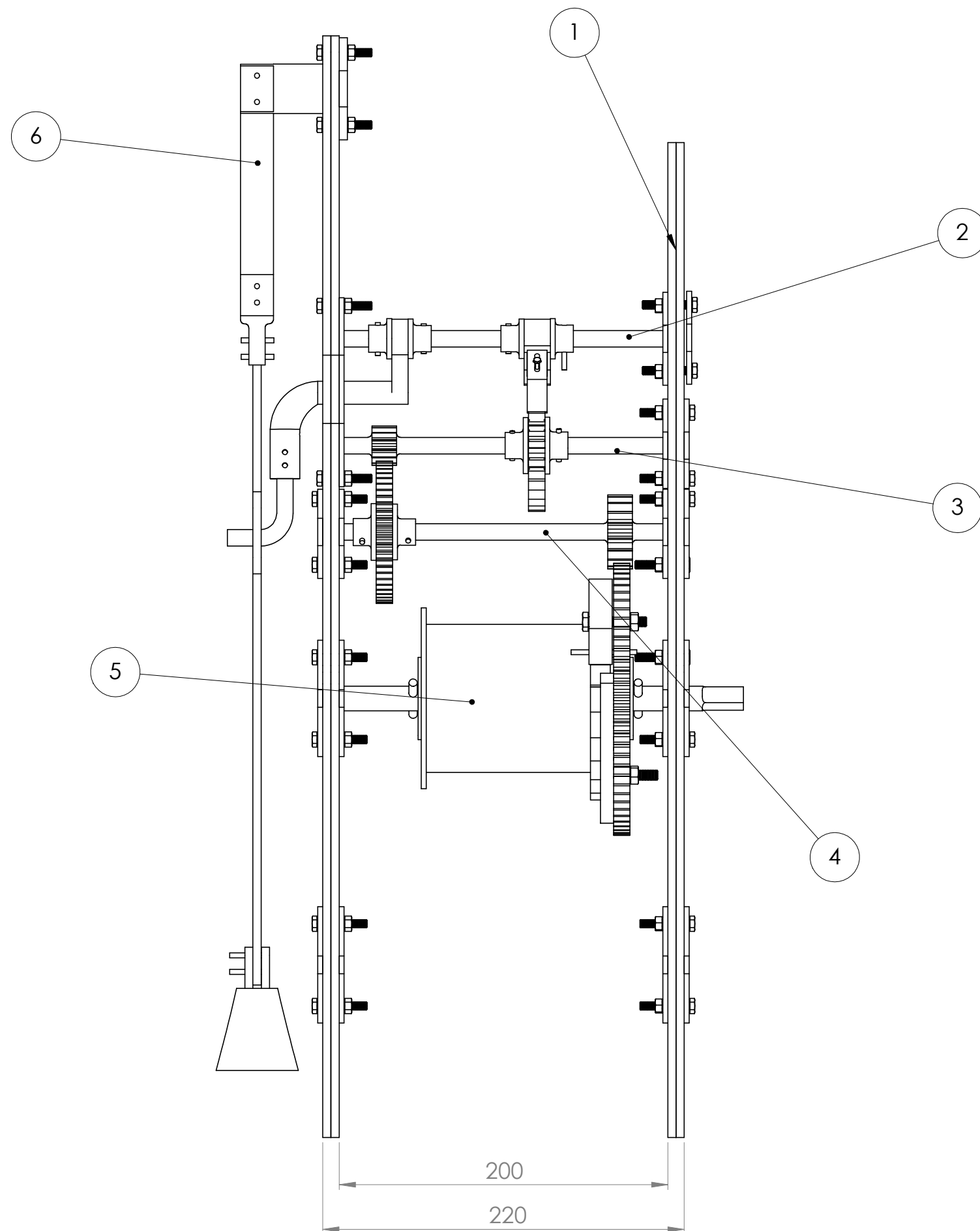




ESCALA 1:10

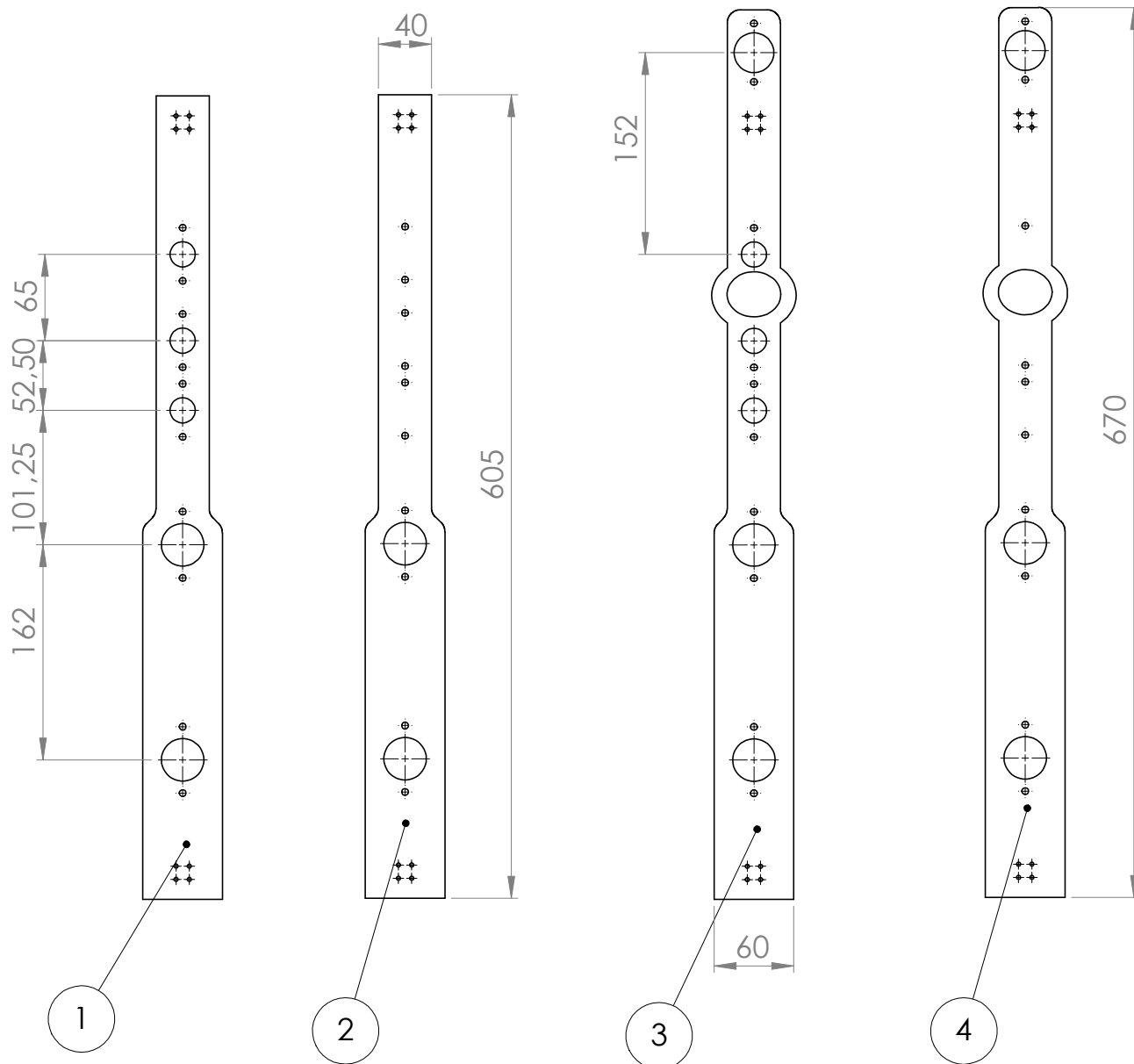


N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	
1	EST Arco	MDF	2	
2	EST Soporte horizontal	MDF	2	
3	EST Soporte lateral	MDF	4	
4	EST Barra horizontal	Abeto	3	
5	EST Esquina vertical	Abeto	4	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO ESTRUCTURA BASE				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A3	ESCALA 1:5	Nº PLANO 02
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		

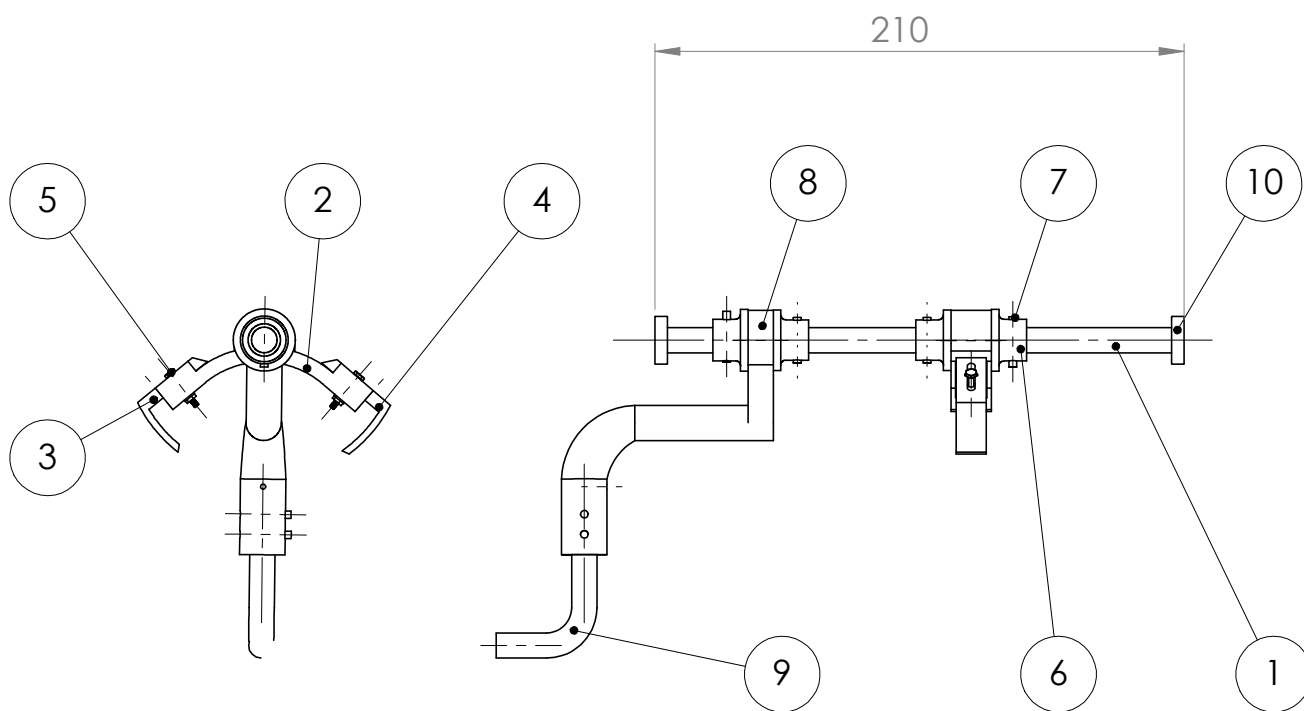


ESCALA 1:5

Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Nº PLANO	
1	MEC1 SOPORTES	1	04	
2	Conjunto MEC1 EJE ÁNCORA	1	05	
3	Conjunto MEC1 EJE1	1	06	
4	Conjunto MEC1 EJE2	1	07	
5	Conjunto RUEDA IMPERIAL	1	08	
6	Conjunto MEC1 PÉNDULO	1	09	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO TREN DE MOVIMIENTO				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A3	ESCALA <b>1:3</b>	Nº PLANO <b>03</b>
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	
1	MEC1 Soporte ejes interior 1	MDF	1	
2	MEC1 Soporte de ejes exterior 1	MDF	1	
3	MEC1 Soporte de ejes interior 2	MDF	1	
4	MEC1 Soporte de ejes exterior 2	MDF	1	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: MEC1 SOPORTES				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA <b>1:5</b>	Nº PLANO <b>04</b>
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	MEC1 EJE ÁNCORA	ABS	1
2	MEC1 ÁNCORA CENTRAL	ABS	1
3	MEC1 ÁNCORA IZQUIERDA	ABS	1
4	MEC1 ÁNCORA DERECHA	ABS	1
5	Tornillo cabeza hexagonal M3-20mm + Tuerca	Acero galvanizado	2
6	MEC1 ARANDELA ÁNCORA	ABS	2
7	MEC1 PASADOR	Madera de tilo	2
8	MEC1 AGARRE TENEDOR	ABS	1
9	MEC1 TENEDOR	ABS	1
10	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	2

PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO

FIRMA

PLANO: CONJUNTO MEC1 EJE ÁNCORA

NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE

A4

ESCALA

Nº PLANO

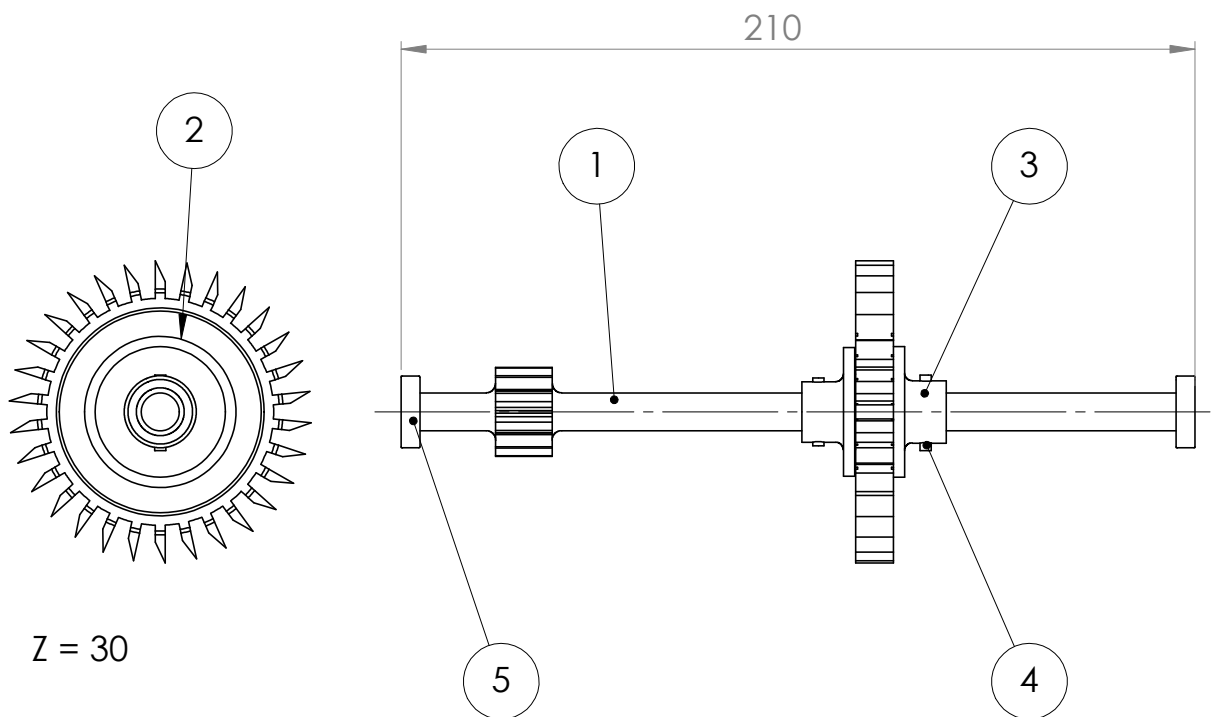
E.T.S.I.I.T.

UPNA

FECHA: 18/10/2020

1:3

05



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	MEC1 EJE 1 PIÑÓN Z14 M1.5	ABS	1
2	MEC1 RUEDA ESCAPE	MDF	1
3	MEC1 ARANDELA	MDF	1
4	MEC1 PASADOR	Madera de tilo	1
5	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	2

PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO

FIRMA

PLANO: CONJUNTO MEC1 EJE 1

NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE

A4

ESCALA

Nº PLANO

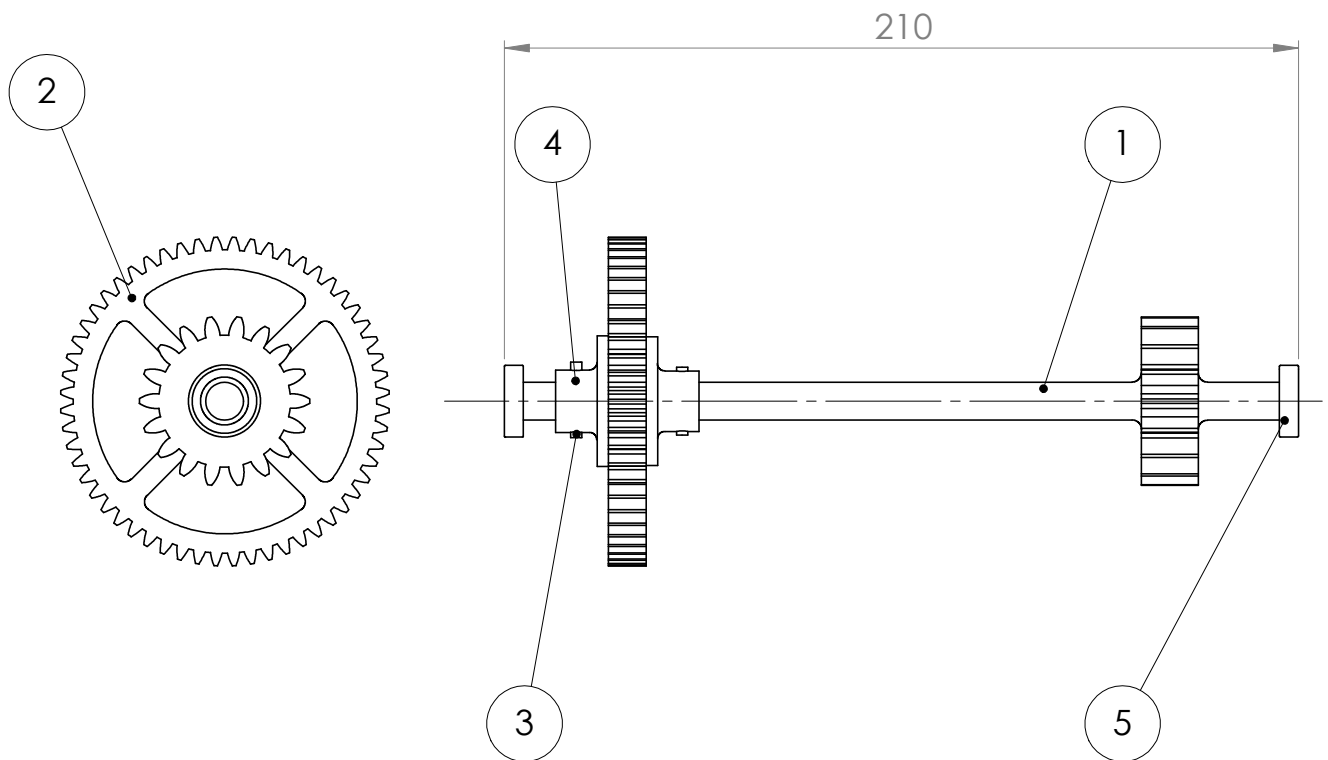
E.T.S.I.I.T.

UPNA

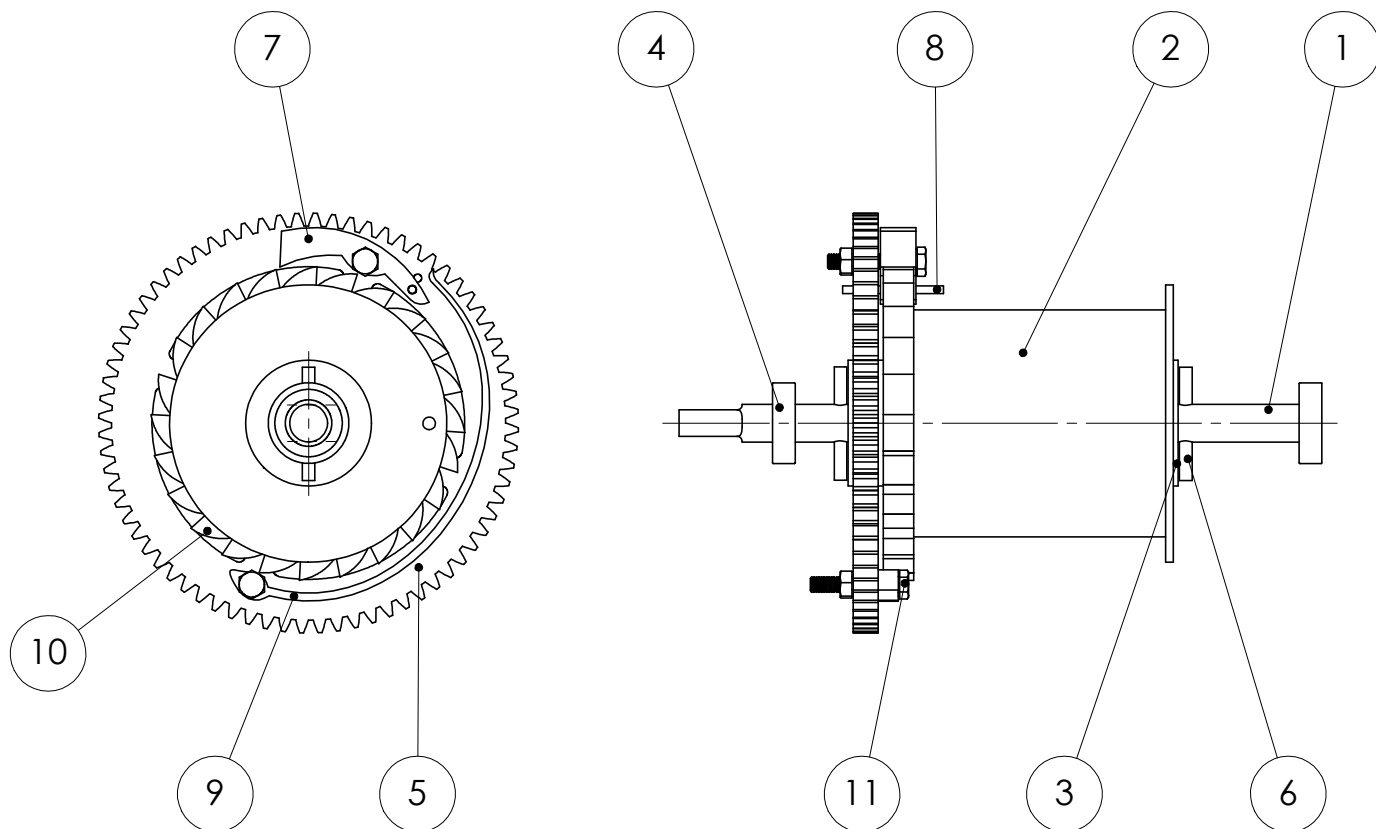
FECHA: 18/10/2020

1:2

06



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	
1	MEC1 EJE 2 PIÑÓN Z18 M2.25	ABS	1	
2	MEC1 RUEDA Z56 M1.5	MDF	1	
3	ARANDELA	ABS	1	
4	PASADOR	Madera de tilo	1	
5	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	2	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO MEC1 EJE 2				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA <b>1:2</b>	Nº PLANO <b>07</b>
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		



N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	MEC1 EJE 3	ABS	1
2	MEC1 TAMBOR	ABS	1
3	ARANDELA IMPERIAL	MDF	3
4	Rodamiento 15x32x9 mm	Acero	3
5	MEC1 RUEDA ENGRANE Z72 M2.25	MDF	1
6	PASADOR IMPERIAL	Madera de tilo	2
7	UÑA	ABS	1
8	PASADOR UÑA	Madera de tilo	1
9	FLEJE IMPERIAL	ABS	1
10	RUEDA TRINQUETE	ABS	1
11	Tornillo cabeza hexagonal M5 x 35 mm	Acero galvanizado	2
12	ISO - 4032 - M5 - W - N	Acero galvanizado	2

PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO

FIRMA

PLANO: CONJUNTO RUEDA IMPERIAL

NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE

A4

ESCALA

Nº PLANO

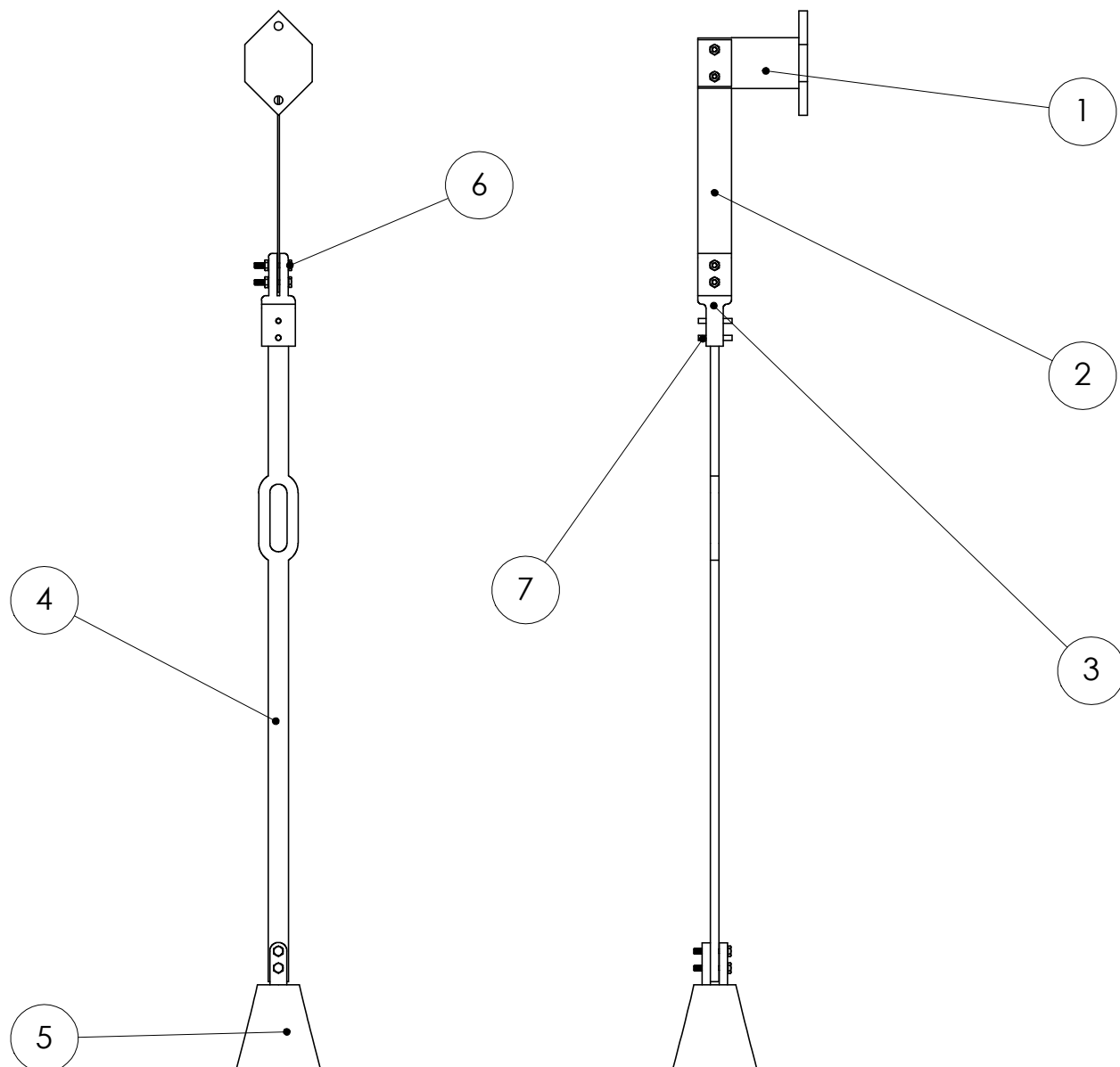
E.T.S.I.I.T.

UPNA

FECHA: 18/10/2020

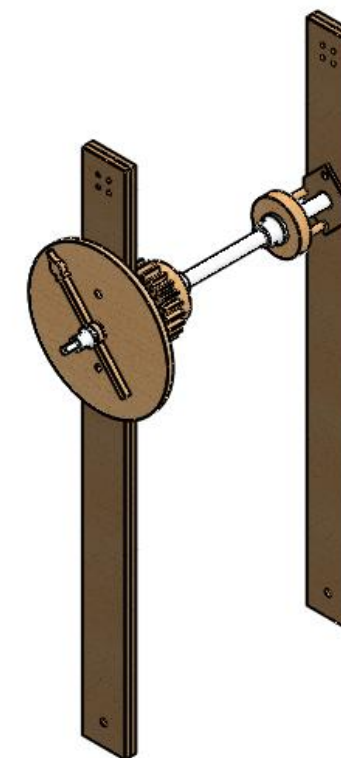
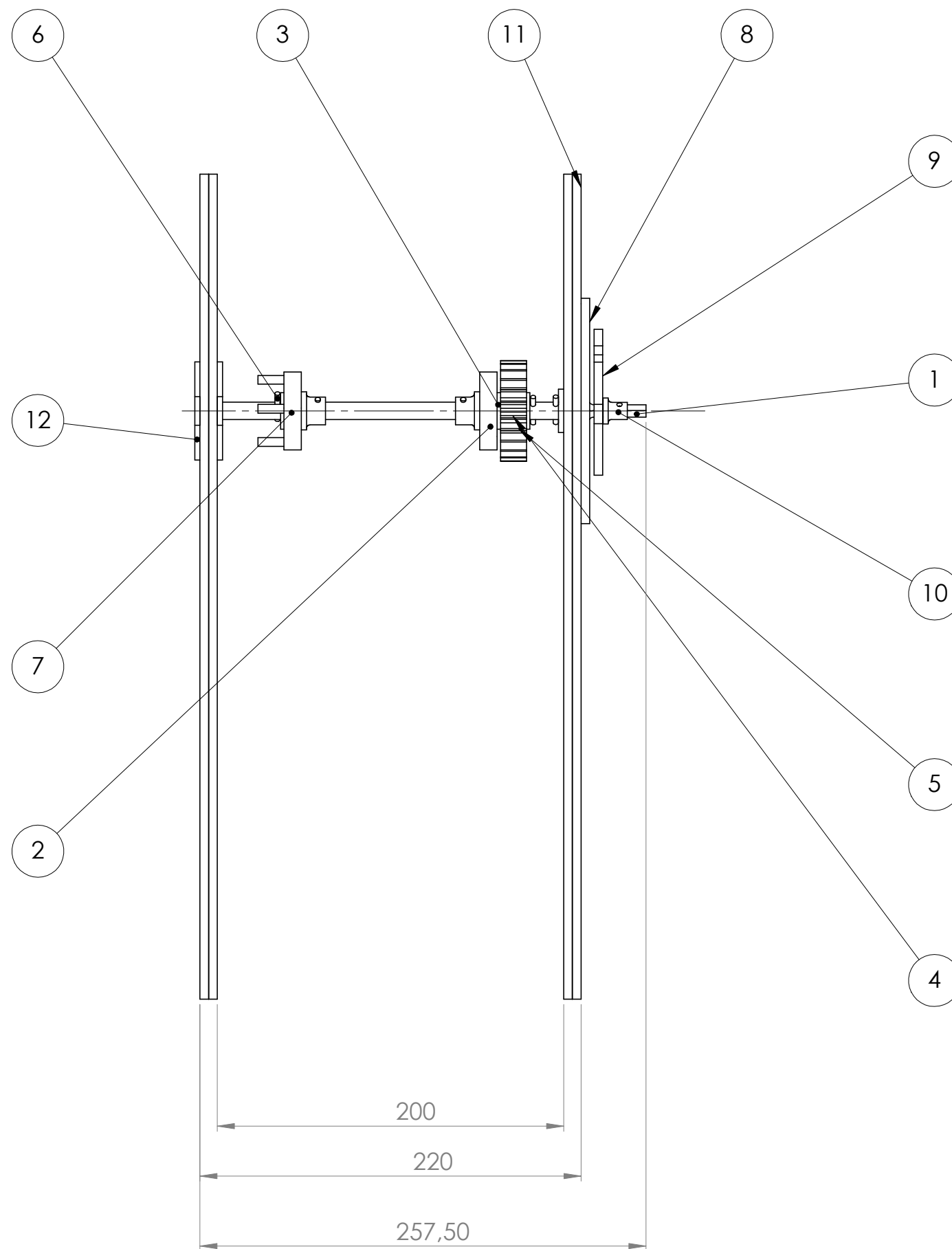
1:3

08



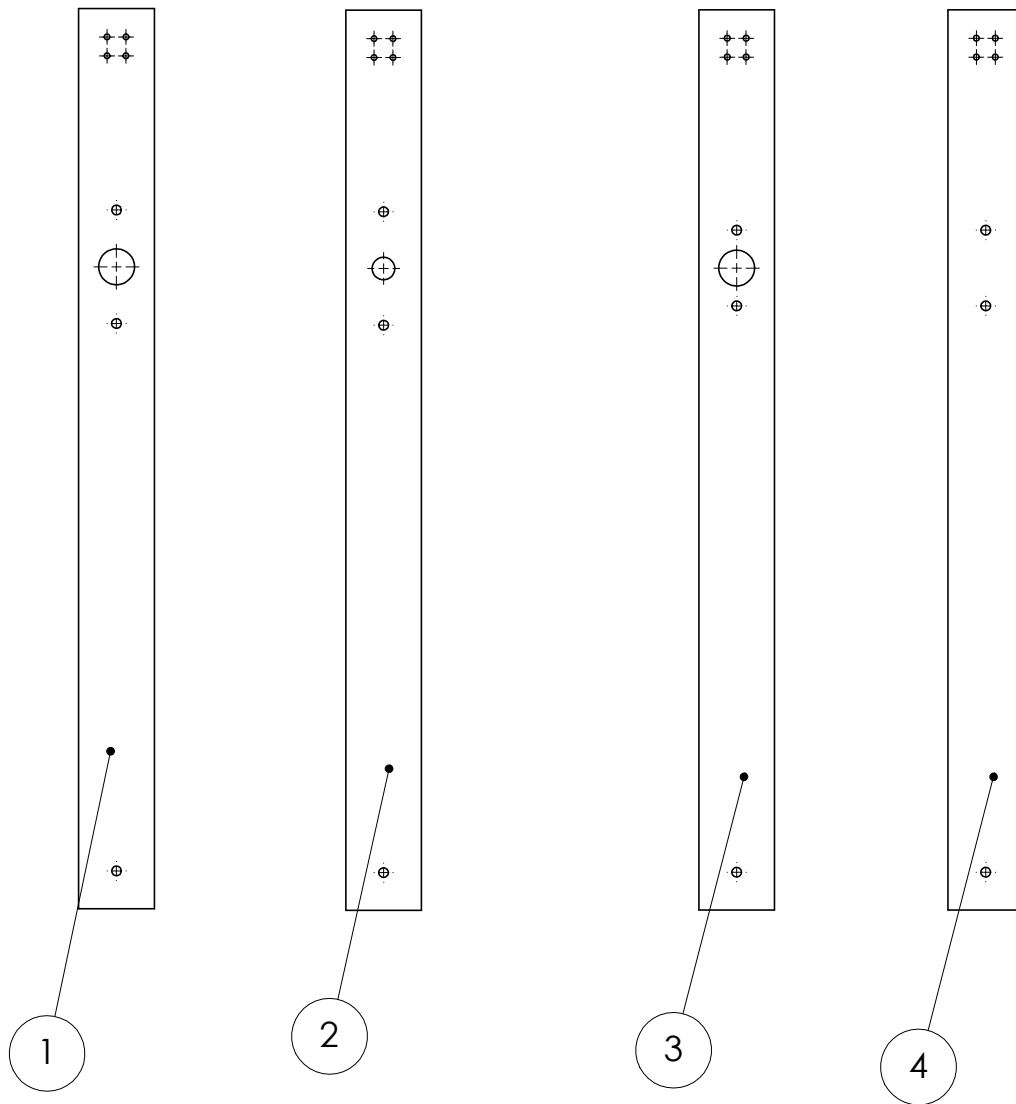
Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	
1	MEC1 SOPORTE FLEJE	ABS	1	
2	MEC1 FLEJE	Aluminio	1	
3	MEC1 AGARRE PÉNDULO	ABS	1	
4	MEC1 PÉNDULO	MDF	1	
5	MEC1 PESA PÉNDULO		1	
6	Tornillo hexagonal M3-20mm + Tuerca	Acero galvanizado	6	
7	PASADOR	Madera de tilo	2	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO MEC1 PÉNDULO				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA  1:4	Nº PLANO  09
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		





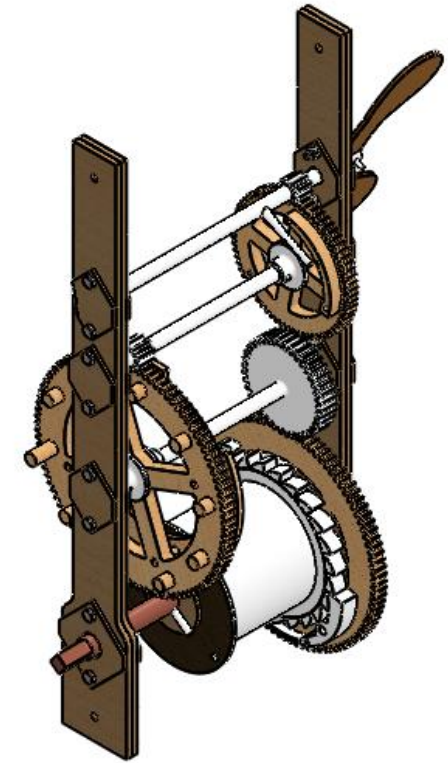
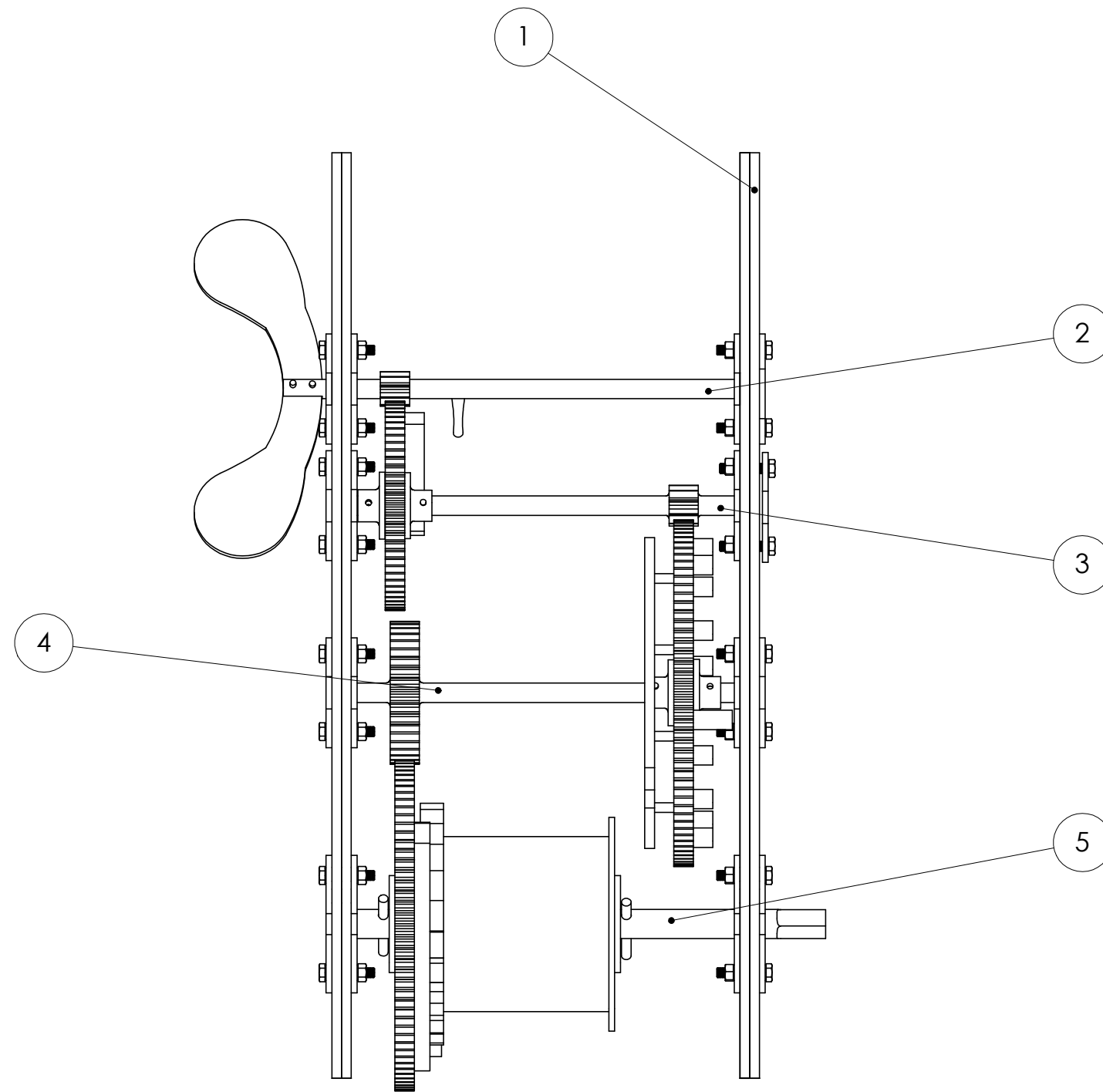
Nº ELEMENTO	DESCRIPTIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	MIN EJE MINUTERO	ABS	1
2	MIN EMBRAGUE	MDF	1
3	MIN ARANDELA	MDF	3
4	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	3
5	MIN RUEDA MINUTERA	MDF	1
6	Pasador	Madera de filo	3
7	MIN RUEDA PIVOTADA	MDF	1
8	MIN ESFERA	MDF	1
9	MIN AGUJA	MDF	1
10	MIN ARANDELA AGUJA	ABS	1
11	MIN SOPORTES	MDF	4
12	MIN TAPAS	MDF	3

PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO				FIRMA	
PLANO: CONJUNTO EJE MINUTERA					
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE			A3	ESCALA	Nº PLANO
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		1:3	10



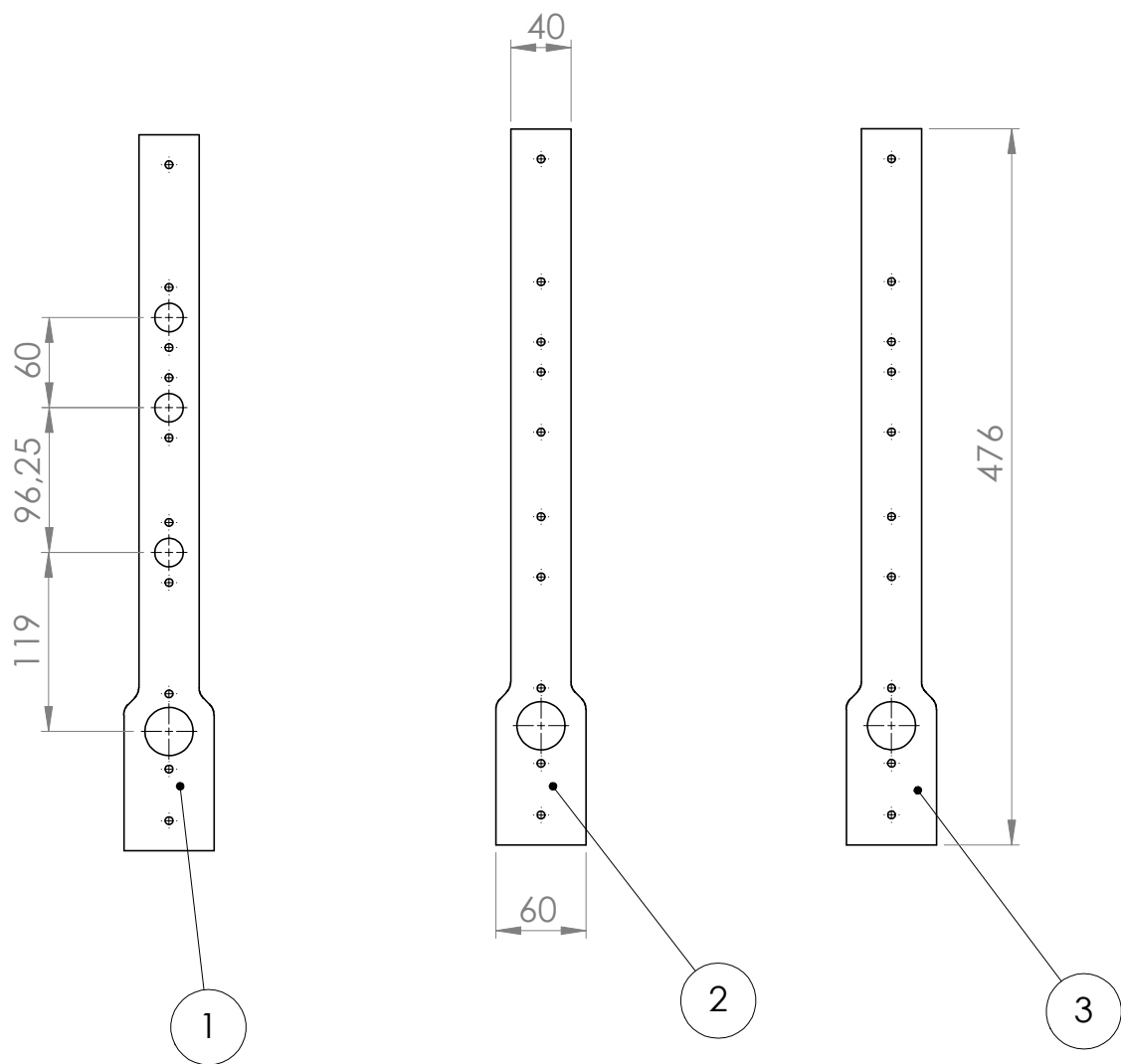
Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	MIN SOPORTE INTERIOR 1	MDF	1
2	MIN SOPORTE EXTERIOR 1	MDF	1
3	MIN SOPORTE INTERIOR 2	MDF	1
4	MIN SOPORTE EXTERIOR 2	MDF	1

PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO				FIRMA
PLANO: MIN SOPORTES				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA  1:4	Nº PLANO  11
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		

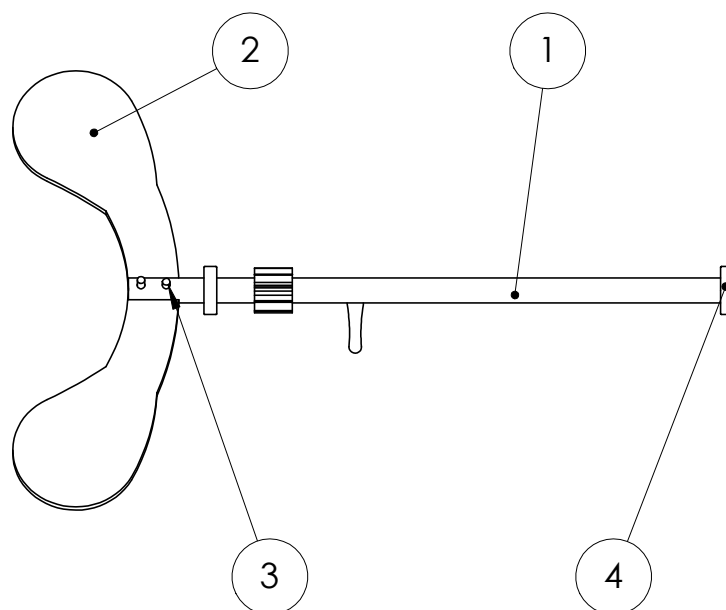


ESCALA 1:5

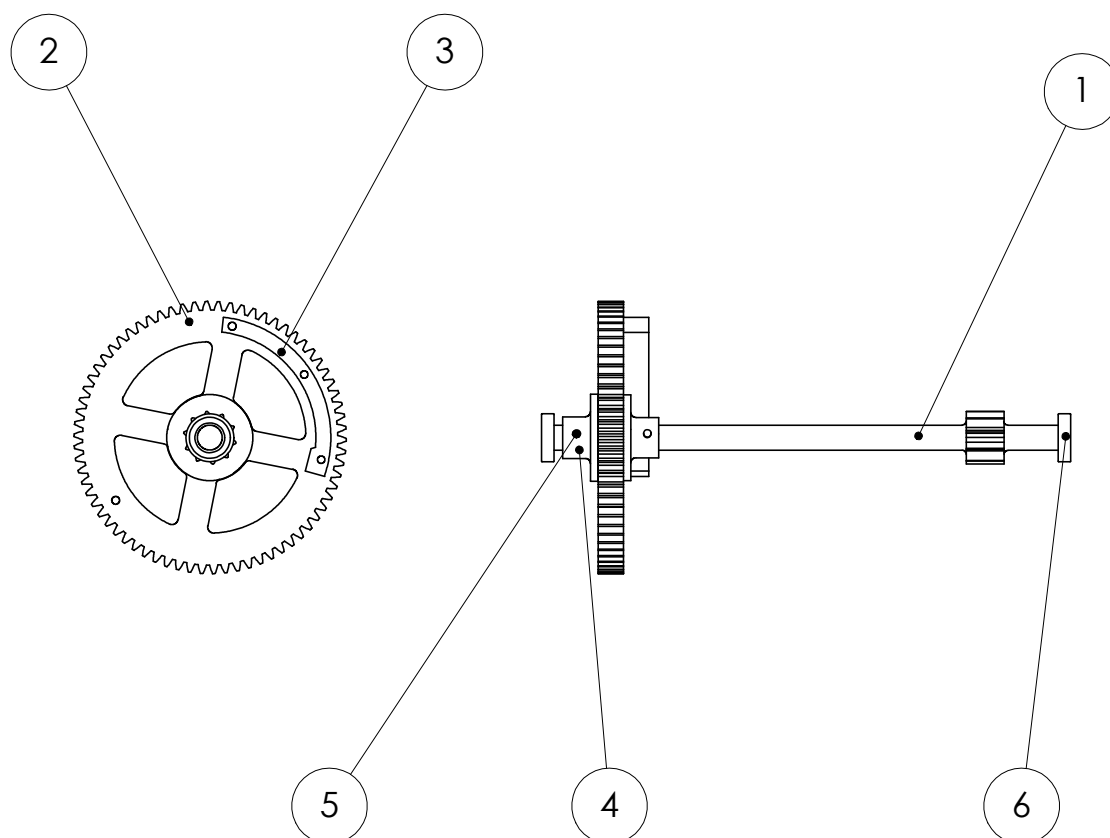
Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Nº PLANO	
1	MEC2 SOPORTES	1	13	
2	CONJUNTO MEC2 EJE 1	1	14	
3	CONJUNTO MEC2 EJE 2	1	15	
4	CONJUNTO MEC2 EJE 3	1	16	
5	RUEDA IMPERIAL	1	08	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO TREN DE CUARTOS				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A3	ESCALA 1:3	Nº PLANO 12
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN		MATERIAL	CANTIDAD
1	MEC2 SOPORTE INTERIOR		MDF	2
2	MEC2 SOPORTE EXTERIOR 1		MDF	1
3	MEC2 SOPORTE EXTERIOR 2		MDF	1
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO				FIRMA
PLANO: MEC2 SOPORTES				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA <b>1:5</b>	Nº PLANO <b>13</b>
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	
1	MEC2 EJE3 PIÑÓN Z10 M1.5	ABS	1	
2	VENTEROL	DXF	1	
3	PASADOR	Madera de tilo	2	
4	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	2	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO MEC2 EJE1				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA  1:3	Nº PLANO  14
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 19/10/2020		



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	MEC2 EJE2 PIÑÓN Z10 M1.75	ABS	1
2	MEC2 RUEDA 2 Z70 M1.75	MDF	1
3	MEC2 FLEJE RUEDA2	MDF	1
4	ARANDELA	ABS	1
5	PASADOR	Madera de tilo	1
6	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	2

PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO

FIRMA

PLANO: CONJUNTO MEC2 EJE2

NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE

A4

ESCALA

Nº PLANO

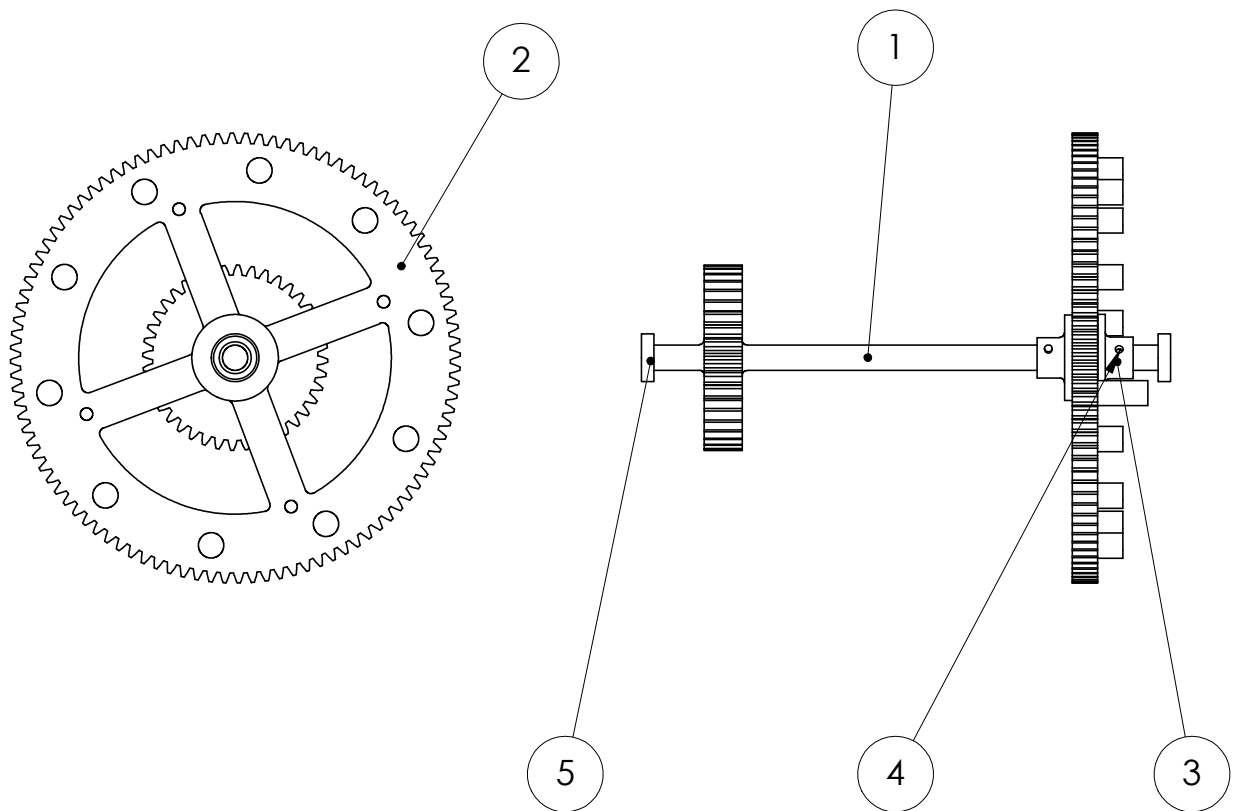
E.T.S.I.I.T.

UPNA

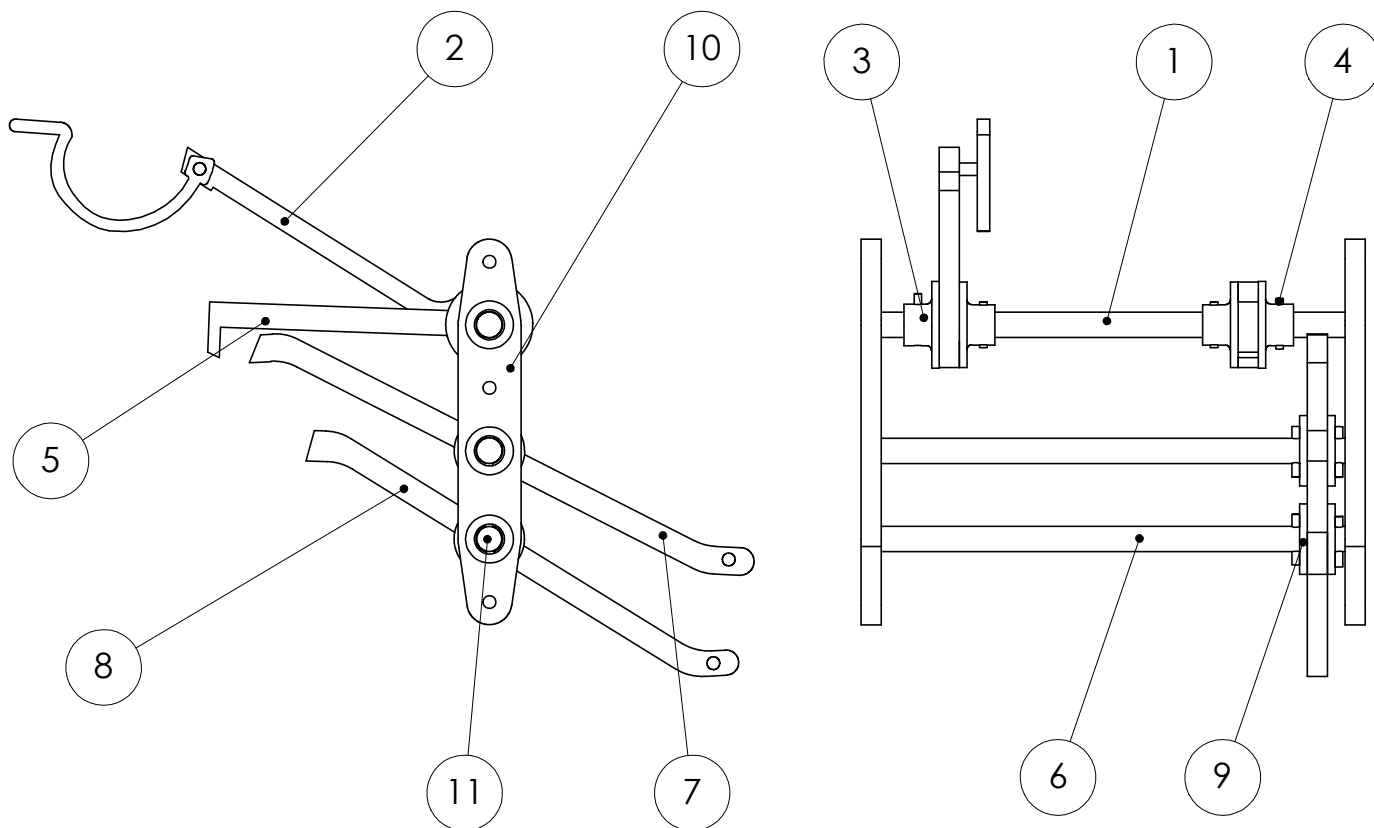
FECHA: 19/10/2020

**1:3**

**15**



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	
1	MEC2 EJE2 PIÑÓN Z40 M1.75	ABS	1	
2	MEC2 RUEDA 2 Z100 M1.75	MDF	1	
3	ARANDELA	ABS	1	
4	PASADOR	Madera de tilo	1	
5	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	2	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO MEC2 EJE3				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA	Nº PLANO 16
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 19/10/2020		
		1:3		



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	MEC2 EJE ACTUADOR BLOQUEO	ABS	1
2	MEC2 ACTUADOR DE BLOQUEO	MDF	1
3	ARANDELA	ABS	1
4	PASADOR	Madera de tilo	6
5	MEC2 ACTUADOR DISCO	MDF	1
6	MEC2 EJE SONERÍA	ABS	2
7	MEC2 ACTUADOR SONERÍA 1	MDF	1
8	MEC2 ACTUADOR SONERÍA 2	MDF	1
9	MEC2 ARANDELA SONERÍA	MDF	4
10	MEC2 ACOPLAMIENTO SONERÍA	ABS	2
11	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	6

PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO

FIRMA

PLANO: CONJUNTO MEC2 SONERÍA CUARTOS

NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE

A4

ESCALA

Nº PLANO

E.T.S.I.I.T.

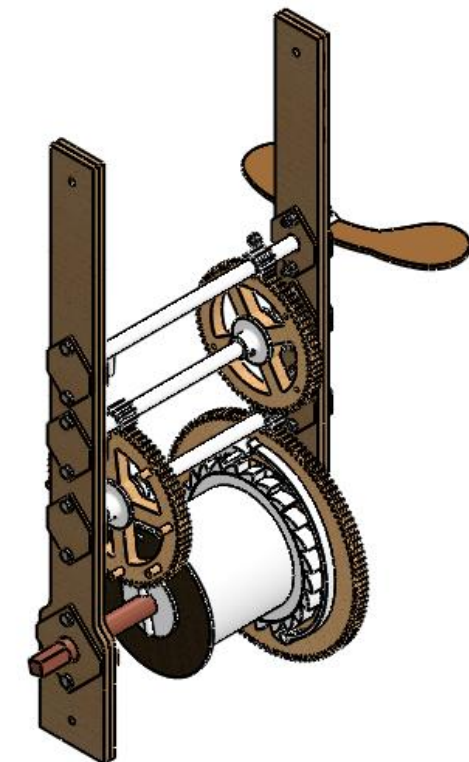
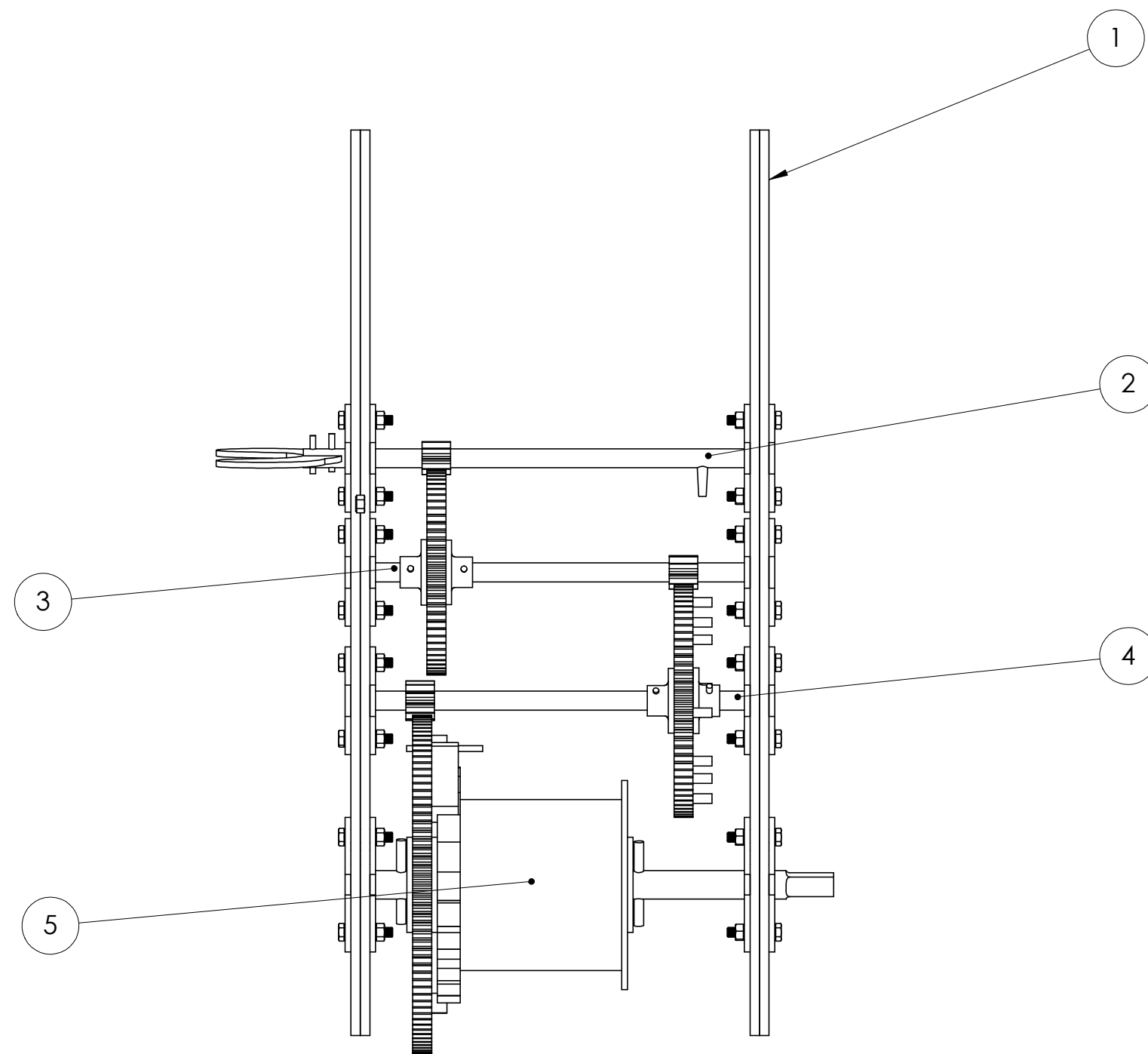
UPNA

FECHA: 19/10/2020

1:3

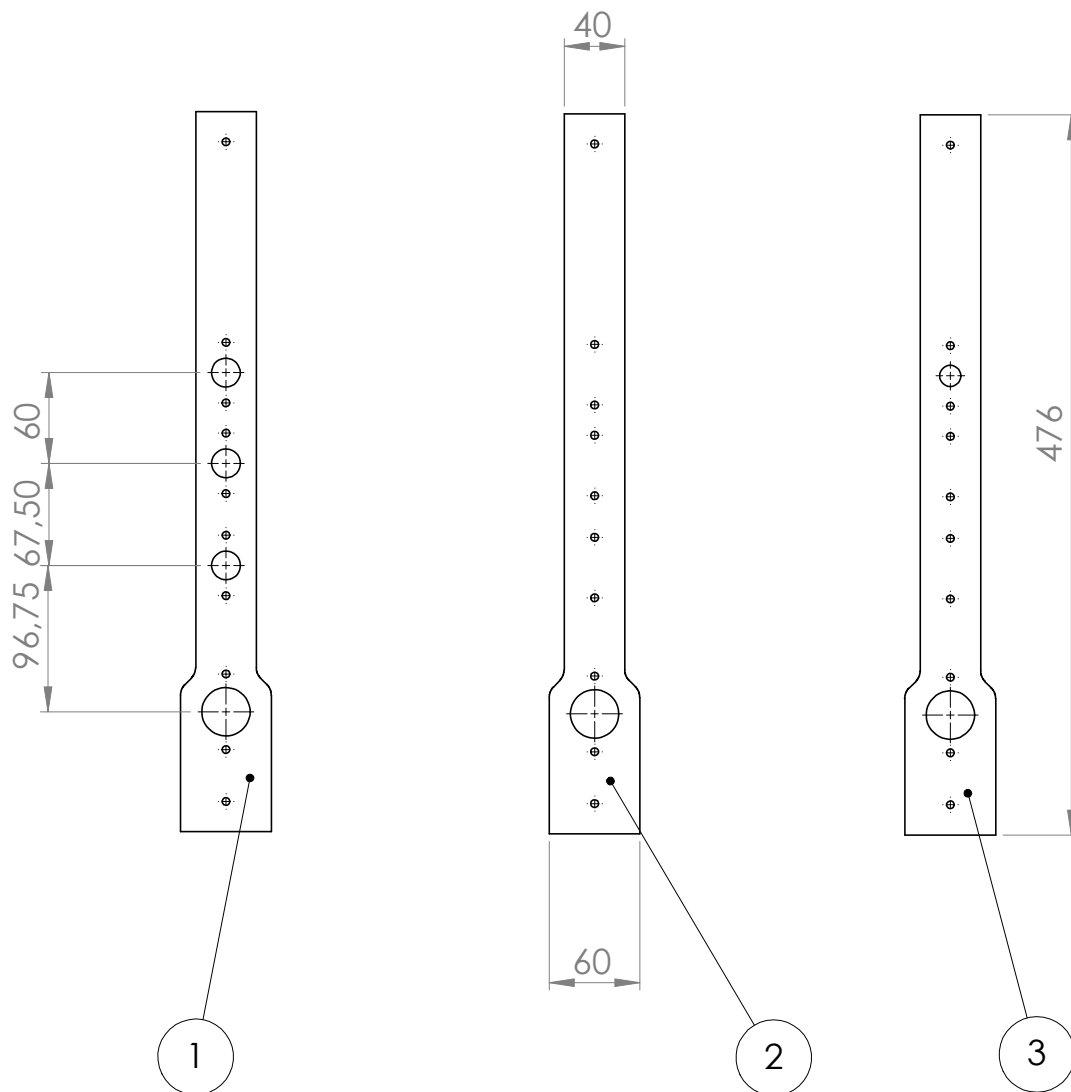
17



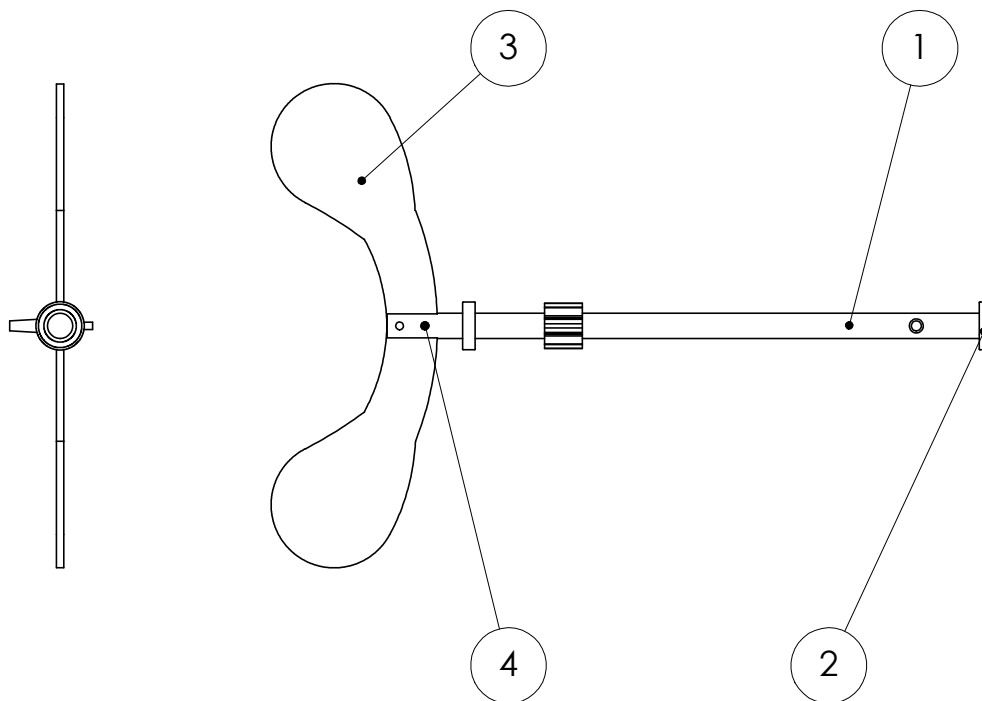


ESCALA 1:5

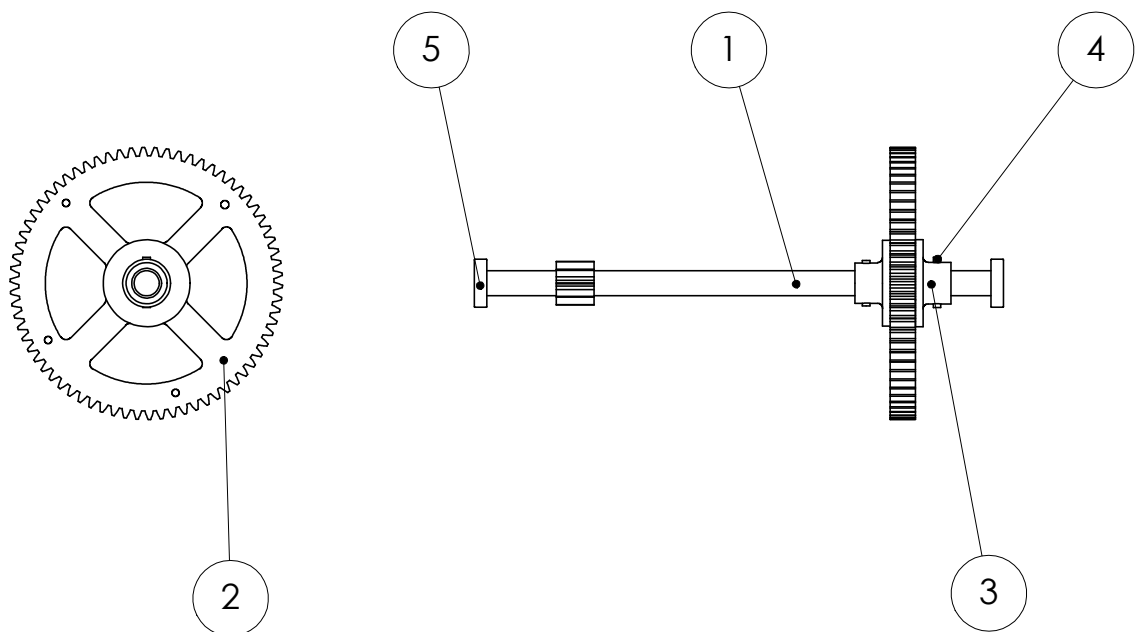
Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Nº PLANO	
1	MEC3 SOPORTES	1	19	
2	CONJUNTO MEC3 EJE 1	1	20	
3	CONJUNTO MEC3 EJE 2	1	21	
4	CONJUNTO MEC3 EJE 3	1	22	
5	RUEDA IMPERIAL	1	08	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO TREN DE HORAS				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A3	ESCALA 1:3	Nº PLANO 18
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		



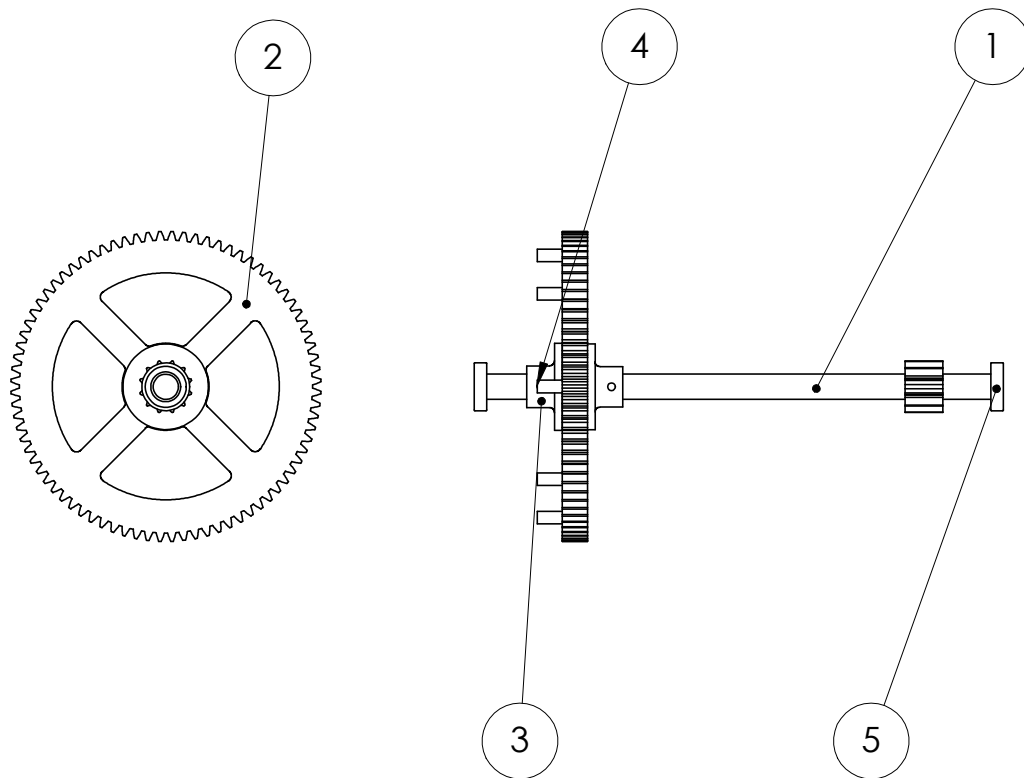
Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	
1	MEC3 SOPORTE INTERIOR	MDF	2	
2	MEC3 SOPORTE EXTERIOR 1	MDF	1	
3	MEC3 SOPORTE EXTERIOR 2	MDF	1	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: MEC3 SOPORTES				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA  1:5	Nº PLANO  19
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	
1	MEC3 EJE1 PIÑÓN Z10 M1.5	ABS	1	
2	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	2	
3	VENTEROL	MDF	1	
4	PASADOR	Madera de tilo	2	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO MEC3 EJE1				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA <b>1:3</b>	Nº PLANO <b>20</b>
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	
1	MEC3 EJE2 PIÑÓN Z10 M1.5	ABS	1	
2	MEC3 RUEDA 2 Z70 M1.5	DXF	1	
3	ARANDELA	ABS	1	
4	PASADOR	Madera de tilo	1	
5	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	2	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO MEC3 EJE2				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA  1:3	Nº PLANO  21
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 18/10/2020		



Nº ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	
1	MEC3 EJE3 PIÑÓN Z12 M1.5	ABS	1	
2	MEC3 RUEDA 3 Z80 M1.5	DXF	1	
3	ARANDELA	ABS	1	
4	PASADOR	Madera de tilo	1	
5	Rodamiento 10x19x5 mm	Acero	2	
PROYECTO: MAQUETA ANTIGUO RELOJ AYUNTAMIENTO			FIRMA	
PLANO: CONJUNTO MEC3 EJE3				
NOMBRE: NEREA DE BILBAO ILZARBE		A4	ESCALA  1:3	Nº PLANO  22
E.T.S.I.I.T.	UPNA	FECHA: 19/10/2020		